IPC-HDBK-005

РУКОВОДСТВО ПО ОЦЕНКЕ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ

Стандарт разработан Ассоциацией IPC.

Благодарность

В любом документе, затрагивающем несколько технических наук, используется материал из огромного количества источников. В то время как основные участники рабочей группы по изучению паяльной пасты (5-24b) Комитета по процессам сборки и соединения (5-20) перечислены ниже, невозможно указать всех, кто оказал помощь в разработке данного стандарта. Но каждому из них члены IPC выражают свою благодарность.

Комитет по процессам сборки и соединения	Рабочая группа по изучению паяльной пасты	Техническая поддержка совета директоров IPC
см. в оригинале		

Рабочая группа по изучению паяльной пасты
см. в оригинале

Содержание

Смотри в оригинале.

Руководство по оценке паяльной пасты

1 ОПИСАНИЕ

Данный справочник является дополнением к стандарту J-STD-005 по паяльной пасте и должен рассматриваться в качестве руководства, помогающего оценить пригодность паяльной пасты к ее использованию в технологических процессах поверхностного монтажа (SMT). В данном документе также предложены некоторые методы проведения испытаний, которые могут быть полезны при разработке и проведению испытаний паяльных паст. Предназначен к использованию как поставщиками, так и потребителями паяльных паст.

1.1 Назначение Паяльная паста – уникальный материал, эффективность которого в процессах поверхностного монтажа зависит от многообразия переменных величин, многие из которых взаимодействуют. В стандарте J-STD-005 содержатся методы испытаний для классифицирования паяльной пасты, основанные на использовании разнообразных способов проведения испытаний. Однако, данная классификация паяльных паст не выявляет прямой взаимосвязи с типом и характеристиками отдельно взятой паяльной пасты, необходимой для какого-либо процесса поверхностного монтажа.

Данный документ был разработан в качестве руководства по оцениванию пригодности какой-либо паяльной пасты для какого-либо отдельного процесса и содержит огромное количество вариантов компоновок различных материалов, сред и процессов, существующих на данный момент.

В некоторых местах даны ссылки на статьи и документы, содержащие более полную информацию. Из-за исключительно большого числа возможных взаимодействующих факторов не могут быть установлены точные критерии отбора паяльных паст. Выбранная паяльная паста и используемый процесс сборки должны сформировать паянное соединение, отвечающее требованиям промышленных стандартов, таким как J-STD-001 и/или IPC-A-610.

1.2 Перечень контрольных вопросов Поставщики паяльных паст чаще всего предоставляют фактическую информацию о поставляемом продукте. Если такая информация доступна, это сохраняет много времени и денег при квалифицировании характеристик продукции. Следующий список – это примеры той информации, которая обычно представляет ценность для инженеров-технологов и конструкторов. Пункты, помеченные звездочкой (*), как правило, представляют наибольшую ценность.

*Паста рекомендуется для использования в чистых условиях или без проведения очистки и рекомендуется ли какой-либо процесс проведения очистки?
*Какая программа пайки считается идеальной или рекомендуемой?
*Как классифицируются флюсы по стандарту J-STD-004 или равноценному стандарту по флюсам?

- *Каковы результаты испытаний при помощи медного зеркала?
- *Каково содержание галогенидов?
- *Каково процентное соотношение твердых частиц флюса (содержание нелетучих частиц)?
- *Коррозия
- *Поверхностное сопротивление изоляции (SIR)

*Каковы характеристики паяльной пасты по стандарту J-STD-005?

- *Величина частиц порошка
- *Форма частиц порошка
- *Процентная доля металлов
- *Вязкость
- *Осадка
- *Шарик припоя
- *Клейкость
- *Смачиваемость

*Каково назначение мягкого порошкового припоя по стандарту J-STD-006?

- Показатель кислотности
- Удельный вес флюса
- Вязкость пастообразного флюса
- Визуальный осмотр
- Распределение флюса
- Баланс смачиваемости
- Плесень

Отвечает ли она требованиям Telcordia (бывшая Bellcore) GR-78-CORE?

- медное зеркало
- галогениды – хромат серебра
- SIR – электромиграция

1.3 Термины и определения В данном руководстве используются термины и определения, общие для электронной промышленности и определенные в стандарте **IPC-T-50** *Термины и определения для комплексных или объединенных в корпус электронных схем.*

1.4 Применение паяльной пасты Паяльная паста – материал, обеспечивающий паянное соединение между смачиваемыми паяемыми поверхностями. Для осуществления пайки, она должна состоять из:

- растворителя флюса, способного расщепить оксиды на поверхностях, подвергаемых смачиванию, и
- мягкого припоя, в форме небольших шариков, которые в процессе пайки будут слипаться и образовывать паянное соединение.

Для применения паяльная паста должна:

- обладать достаточным эксплуатационным сроком службы при температуре окружающей среды и в условиях влажности.
- обладать достаточным поверхностным натяжением, так называемой клейкостью, для удержания на месте выводов компонентов до и во время процесса пайки.

- не должна участвовать в образовании нежелательных шариков припоя / мелких частиц на компоновочном узле.

В следующих разделах будут описаны пригодность к пайке, печатному монтажу, срок службы трафарета, осадка, склеиваемость, удаление газов во время пайки, образование шариков припоя, зажимное приспособление для образцов, очистка, замер количества остатков паяльной пасты после проведения пайки, а также срок эксплуатационной годности паяльной пасты.

2 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Указанные ниже технические требования и стандарты являются частью данного руководства / справочника. Если возникает разногласие между требованиями / рекомендациями стандарта IPC-HDBK-005 и перечисленными ниже документами, то приоритет должен отдаваться стандарту IPC-HDBK-005.

2.1 IPC[1]

IPC-A-20/21	Стандартный образец испытаний на подвижность
IPC-SC-60	Руководство по очистке органическими растворителями после проведения пайки
IPC-SA-61	Руководство по неполной водной очистке после проведения пайки
IPC-AC-62	Руководство по водной очистке после проведения пайки
IPC-CH-65	Рекомендации по проведению очистки печатных плат и узлов
IPC-A-610	Пригодность электронных узлов
IPC-TM-650	Руководство по методам испытаний[2]
2.214.3	Определение максимального размера частиц порошка
2.4.34	Вязкость паяльной пасты – Метод вращения Т-образного стержня (применим от 300,000 до 1,600,000 сантипуаз)
2.4.34.1	Вязкость паяльной пасты – Метод Т-образного стержня (применим при менее 300,000 сантипуаз)
2.4.34.2	Вязкость паяльной пасты – Метод постепенной накачки (применим от 300,000 до 1,600,000 сантипуаз)
2.4.34.3	Вязкость паяльной пасты – Метод постепенной накачки (применим при менее 300,000 сантипуаз)
2.4.35	Паяльная паста – Проверка подвижности
2.4.43	Паяльная паста – Проверка шариков припоя
2.4.44	Паяльная паста – Проверка клейкости
2.4.45	Паяльная паста – Проверка смачиваемости
2.4.47	Сухость остатков флюса

2.2 Объединенные отраслевые стандарты[3]

J-STD-001	Требования к паянным электрическим и электронным узлам
J-STD-002	Проверка пригодности к пайке выводов, контактов, лепестков, клемм и проводов компонентов
J-STD-003	Проверка пригодности к пайке печатных плат
J-STD-004	Требования к флюсам для пайки
J-STD-005	Требования к паяльным пастам
J-STD-006	Требования к высококачественным мягким припоям, флюсам и безфлюсовым твердым припоям, используемым в электронных компонентах

2.3 Военные стандарты[4]

MIL-STD-203	Устройства управления и мониторы в кабине самолета: местонахождение, расположение и приведение в действие
MIL-STD-883	Стандарт методов испытаний – микросхемы

2.4 Документы международной электротехнической комиссии[5]

IEC 68-2-20	Климатические испытания. Часть 2: Испытания. Испытание Т: Пайка

2.5 Telcordia[6]

GR-78-CORE	Общие требования к разработке и изготовлению телекоммуникационных устройств и оборудования

2.6 Американское общество испытаний и материалов (ASTM)[7]

ASTM D 1210	Стандартный метод проверки размера дисперсионных частиц систем распределения красящего вещества при помощи измерительного устройства Хегмана

3 ПРИГОДНОСТЬ К ПАЙКЕ

Данное руководство поможет пользователю узнать больше о пригодности к пайке и смачиваемости, а также оценить их роль в технологии поверхностного монтажа. Указываемые в документе методы испытаний являются общепризнанными в промышленности и в настоящий момент используются для сбора информации о пригодности изделий.

3.1 Теоретические сведения о смачиваемости

Смачиваемость припоем металлической поверхности обеспечивается за счет термодинамической поверхностной энергии основания и жидкого припоя до и после процесса пайки. В технологии поверхностного монтажа высокая поверхностная энергия основания играет ключевую роль в создании смачиваемой поверхности.

Чтобы расплавленный припой образовал стойкое твердотельное соединение, должны соблюдаться следующие условия:

- металлическое основание и мягкий припой должны быть совместимы;

---

[1] www.ipc.org
[2] Существующие и пересмотренные методы испытаний IPC доступны в интернете на странице www.ipc.org/html/testmethods.htm
[3] www.ipc.org
[4] http://assist.daps.dla.mil/online/start
[5] www.iec.ch
[6] www.telcordia.com
[7] www.astm.org

- и припой и основание не должны содержать оксидов и инородных веществ и должны оставаться в таком состоянии в течении всего цикла пайки; и
- температура должна достигать соответствующего уровня.

При расплавлении припоя и смачивании металла основания можно рассмотреть три компонента: расплавленный мягкий припой, основание (твердое) и флюс.

По мере того, как расплавленный припой смачивает металл основания, область его распределения будет зависеть от соблюдения условий, приведенных выше. В зависимости от типа мягкого припоя, хорошее смачивание может быть выражено величиной контактного угла, составляющей менее 75° (см. Рисунок 3-1).

Рисунок 3-1 Поверхностное натяжение и контактный угол расплавленного припоя

Рисунок смотри в оригинале

Смачиваемость определяется по уравнению: $\gamma_S = \gamma_F \cos\theta + \gamma_{LS}$. В общем, для обеспечения смачиваемости основания жидким припоем необходимо, чтобы свободная поверхностная энергия основания (γ_3) была больше суммы поверхностного натяжения расплавленного мягкого припоя (γ_{LS}) и поверхностного натяжения флюса (γ_F), умноженного на косинус контактного угла. В большинстве случаев, поверхностная энергия основания (γ_S) и расплавленный припой (γ_{LS}) по абсолютной величине значительно превышают γ_F. Их действие играет значительную роль в определении смачиваемости. Другими словами, если поверхностное натяжение основания выше чем натяжение расплавленного мягкого припоя, то металлическое основание смачивается припоем в достаточной мере. Металл, очищенный от поверхностных оксидов, обладает высокой поверхностной энергией и поэтому, флюсование или удаление оксидов улучшает смачиваемость (увеличивается γ_S).

Используем в качестве примера свинцово-оловянный припой, нанесенный на очищенное медное основание:

- чистый свинец не смачивает основание из чистой меди при стандартной температуре пайки. Это происходит благодаря высокому натяжению на поверхности раздела между свинцом и медью; если к свинцу добавляется олово, то смачиваемость улучшается. Добавление олова снижает натяжение на поверхности раздела между мягким припоем и медным основанием. Дальнейшие добавление олова к свинцу вызывает повышение поверхностного натяжения расплавленного припоя, а также увеличения контактного угла свинцово-оловянного сплава.
- Те же самые теоретические принципы смачиваемости основания расплавленным припоем можно также применить и к сплавам без содержания свинца. Особый угол смачиваемости каждого сплава должен быть оценен при выборе альтернативных бессвинцовых вариантов или свинцово-оловянных припоев.

3.2 Степень смачиваемости Отсутствие смачиваемости между двумя металлами возникает в случае, если расплавленный припой не способен приклеится к основному материалу. Не образуется соединения или скрепления, припой не распределяется по поверхности, которая остается видимой.

Несмачиваемость образуется, если область контакта твердой поверхности с жидкостью не сплошная и если существуют участки, на которых прилипания не происходит. Припой растекается по поверхности, а затем стягивается назад, в результате чего образуются неравномерно покрытые участки с несимметричными бугорками припоя, отделенные друг от друга тонким слоем или пленкой того же припоя. Некоторые участки основного материала могут остаться видимыми.

Недостаточная смачиваемость возникает в случае, если припой на поверхности основного материала смачивает поверхность не целиком. Слой непрерывный, но закрывает поверхность основного материла лишь частично.

Факторы, рассматриваемые в качестве причин возникновения подобных ситуаций, и их воздействия, приведены в Таблице 3-1.

3.3 Контроль смачиваемости Изменение удельной площади участка покрытого припоем может быть замерено, если установлены регулируемые величины. К ним относят температуру, время и тип материала. Угол контакта, образуемый при пайке, указывает на степень смачиваемости основного материала припоем и может быть измерен через поперечное сечение паяного соединения.

3.4 Факторы, влияющие на паяемость в процессе пайки оплавлением К факторам, влияющим на паяемость выбранного материала основания, относят:

- качество поверхности контактной площадки
- структура выводов / качество покрытия
- способ осуществления пайки оплавлением
- паяльная паста

3.4.1 Качество поверхности контактной площадки Тип, качество и толщина поверхностного слоя на печатной плате могут в значительной мере повлиять на паяемость. И толщина покрытия и качество сильно воздействуют на то, как паяльная паста смачивает участок контакта. Тонкое покрытие в процессе пайки может полностью износиться , особенно в случае, если плата паялась дважды. Образованный интерметаллический сплав может быть с легкостью пассивирован, результатом чего становиться плохая паяемость. Качество этого покрытия - следующий фактор. Покрытие не должно содержать нежелательных органических материалов и обладать универсальной толщиной.

Таблица 3-1 Факторы, влияющие на смачиваемость, и их воздействия

Фактор	Воздействие
Неравномерный нагрев	В процессе оплавления жидкий припой будет растекаться на участках с более высокой температурой. Данные участки не должны находиться в местах образования желаемого соединения.
Несовместимость припоя и материала основания	Несовместимость материалов, металлизации, поверхностного слоя или его состава не позволит образоваться интерметаллическому соединению, а, следовательно, будет препятствовать смачиваемости.
Образование оксида	Оксиды могут образоваться на любой металлической поверхности, участвующих в образовании соединения, либо перед, либо во время процесса оплавления, а также будут препятствовать смачиванию образованием переходных оксидов.
Наличие инородных неметаллических веществ	Способы изготовление основания и обработка поверхностного слоя и самого материала могут быть источниками загрязнения. Все типы загрязнений способны снизить прочность соединения или препятствовать смачиваемости.
Наличие дополнительной тепловой массы	Участки платы с высокой тепловой массой будут нагреваться медленнее, чем остальная часть платы и не будет оплавляться, даже если оставшаяся часть платы будет. Тепловая нагрузка в печи из-за приспособлений, используемых в процессе сборки, или других плат может вызвать точечное охлаждение в печи и полностью или частично препятствовать оплавлению.
Выборочные поверхности или участки металлизации	Воздействие внешних факторов на покрытие выводов, покрытие и поверхность плат также оказывает влияние на пайку. Припой будет смачивать те поверхности, которые были очищены при помощи флюса, но поверхности, труднодоступные для очистки из-за местоположения или типа материала, могут остаться непаяными.

3.4.1.1 Выравнивание припоя горячим воздухом (HASL) Выравнивание припоя горячим воздухом является наиболее распространенным способом нанесения покрытия на плату. В основном, этот способ обеспечивает подготовку поверхности к смачиванию паяльной пастой. Кроме того, этот способ сохраняет пригодность поверхности к пайке. Однако, проблематичность контроля толщины покрытия, приводящая к выпуклости верхнего слоя покрытия или недостаточной плоскостности, может вызвать копланарность, перекос компонента, размытость трафарета, а также проблемы с автоматическим распознаванием.

3.4.1.2 Плакирование / нанесения покрытия погружением Электроосаждение, химического восстановление и погружение – это все альтернативные методы нанесения металлического покрытия на печатную плату. Чаще всего, в особенности на никелированных поверхностях, используются благородные металлы, такие как палладий или золото. Слишком тонкие покрытия из золота и серебра могут способствовать потере способности смачиваться, а также могут полностью снашиваться при многократных и долговременных процессах оплавления. Сформированное интерметаллическое соединение легко пассивируется, результатом чего может стать слабая паяемость.

3.4.1.3 Органические защитные покрытия (OSP) В данных покрытиях для защиты медной поверхности используются органические комплексообразующие реагенты, такие как бензамидазол или бензатриазол. OSP обеспечивают более ровную поверхность для пайки. Однако, в том, что касается паяемости, они уступают в сравнении с HASL и по срокам хранения печатной платы в разобранном виде и по легкости паяемости, так как защитный мономолекулярный слой органических молекул очень тонкий, и он может быть недостаточно прочным. В некоторых случаях он очень легко удаляется при трении, возникающем при транспортировки платы. Многократные температурные колебания, появляющиеся при хранении и сборке, также могут разрушить покрытие, что сказывается на паяемости. Характеристикой соединения, образованного между покрытиями OSP, является смачиваемость, возникающая только в местах распределения паяльной пасты. Если паяльная паста не покрывает полностью контактную площадку, то край контактной площадки возможно останется несмоченным.

3.4.2 Структура выводов / качество покрытия На паяемость выводов оказывают влияние следующие факторы:

- основные компоненты сплава
- структура покрытия
- метод нанесения покрытия

3.4.2.1 Основные компоненты сплава Металл, используемый для вывода, может представлять собой один материал или нескольких следующих металлов / сплавов, каждый из которых обладает отдельными характеристиками смачиваемости:

- медь
- медные сплавы
- сплав 42 (41-42,5% никель, остальное – железо)
- сплав Ковар® (29% никель, 17% кобальт, 53% железо, 1% прочее)

3.4.2.2 Структура покрытия Большинство выводов компонентов покрываются легкопаяемыми металлами для улучшения качества паяемости. Наиболее распространенными являются оловянные и олово – свинцовые покрытия. Однако, при наличии дополнительного требования по низкому контактному сопротивлению используются покрытия из платины, палладия или золота.

3.4.2.2.1 Выводы с олово - свинцовым покрытием Олово – свинцовые покрытия наносятся методами электроосаждения или погружения. Иногда между медным материалом подложки и олово-свинцовым покрытием наносят промежуточный слой никеля для того, чтобы уменьшить образование хрупкого медно-оловянного интерметаллического композита на выводе.

3.4.2.2.2 Выводы с золотым покрытием При использовании выводов с золотым покрытием очень важным является чистота основного материала, на которое наносится покрытие, чаще всего очень тонкое. Таким образом, оно быстро растворяется в расплавленном припое из-за высокой

скорости растворения золота в олове. Если основной материал загрязнен или окислился, он не будет смачиваться после растворения верхнего золотого слоя расплавленным припоем. В конце концов, если не все золото раствориться, то промежуточный золото – оловянный слой сделает соединение непрочным. Наносимый слой золота должен быть как можно тоньше по ряду причин:

- стоимость
- золото образует с оловом интерметаллическое соединение, которое очень хрупкое
- сокращая допустимое количество золота, данная хрупкость может быть уменьшена. Было установлено, что 3% содержание золота в паянном соединении приводит к недопустимой хрупкости данного соединения. Кроме того, мутные соединения чаще других подвергаются осмотру из-за золото – оловянного интерметаллического слоя.

В основном, тонкие золотые покрытия очень пористые, и на компонентах, хранящихся в течении долгого периода времени, может быть обнаружено окисление основного материала подложки. Это ухудшает паяемость выводов.

3.4.2.2.3 Выводы с покрытием палладием или платиной Палладиевые или платиновые выводы могут требовать более высокой максимальной температуры и/или более долгого времени до начала плавления, необходимого палладию для того, чтобы полностью растворить и оставить незащищенным никель, пригодный для пайки, чем выводы обычной платы с олово – свинцовым покрытием. Кроме того, в законченном соединении заметен переход от спайки к выводу. Несмотря на это, на никеле контактный угол выше чем на меди, угол считается удовлетворительным до тех пор пока опорная часть вывода смачивается в достаточной мере. Смачивающая способность на никеле ниже чем на меди, поэтому критерии интенсивности, применимые к медным подложкам при проведении проверки соотношения смачиваемости и паяемости, не должны применяться к никелю.

3.4.2.3 Процедуры нанесения покрытий на выводы К наиболее распространенным процедурам нанесения покрытий на выводы относят следующие:

- ***Гальваническое покрытие*** этот способ обеспечивает абсолютно ровное покрытие выводов, но обычно сопровождается наличием органических загрязнений от электролитической ванны. Такие органические загрязнения могут стать причиной появления проблем паяемости.
- ***Электролитическое покрытие и оплавление*** данная процедура позволяет создать покрытие настолько же однородное как и при гальваническом способе, но с меньшим количество органических загрязнений.
- ***Погружение в расплав*** Данный процесс обеспечивает нанесение отличного покрытия из олова или олово – свинца, но при этом не возможно контролировать однородность толщины покрытия.

3.4.3 Пайка оплавлением Способ создания паянного соединения методом оплавления в значительной мере оказывает воздействие на смачиваемость:

- ***Инертная или восстановительная среда*** обеспечивает улучшение паяемости, предотвращая или замедляя окисление покрытия выводов и паяльного сплава.
- ***Максимальная температура*** Чем выше максимальная температура, тем больше паяльная паста смачивает контактную площадку, при чем паста остается активной и жидкой.
- ***Продолжительность программы*** Более долгое время, требуемое для начала плавления, обычно сказывается на более хорошей смачиваемости при условии, если пастообразный флюс не израсходовался во время процессов предварительного нагрева или выдержки. Скорость увеличения температуры при предварительном нагреве и / или время выдержки сказывается на общем времени, в течении которого флюс воздействует на материал подложки, вывод и порошковый припой. Если это время слишком короткое, то этого недостаточно для того, чтобы флюс успел очистить поверхности, подвергаемые пайке. Однако, если период времени слишком долгий, то флюс может быть израсходован еще до начала удаления всех окислов. Кроме того, избыточное время может привести к излишнему росту интерметаллического композита.

3.4.4 Паяльная паста Состав паяльной пасты оказывает значительное влияние на смачиваемость. Необходимо подобрать тип флюса, тип металлического сплава и размер частиц порошкового припоя.

3.4.4.1 Флюс J-STD-004 – стандарт, по которому классифицируются флюсы. Действенностью примененного флюса в паяльной пасте определяется насколько хорошо будет паяться паста.

Флюс, используемый в паяльной пасте, должен быть совместим со сплавами, которые будут использоваться для нанесения защитного покрытия на плату, металлизации выводов и в припое. Например:

- Металлы, такие Cu, Au, Ag, Pd, Sn и Sn-Pb, могут паяться с использованием большинства имеющихся в наличии типов флюсов.
- Медные сплавы, сплав Ковар, нержавеющая сталь и Zn обычно паяются с использованием неорганического флюса.
- Алюминиевые сплавы требуют применения более специализированных флюсов. Такие флюсы содержат неорганические соли, такие как хлориды и фториды цинка, олова, калия и аммония.

3.4.4.2 Припой из сплава Выбор сплава, используемого для пайки, зависит от материалов подложки, окончательных характеристик паянного соединения и температуры эксплуатации окончательно собранного узла. Эвтектические сплавы Sn63Pb37 и Sn62Pb36Ag2 являются самыми часто используемыми припоями. Они обладают следующими полезными свойствами:

- Хорошей смачиваемостью благодаря совместимости олова со многими другими металлами
- Припойный сплав сам по себе не является хрупким интерметаллическим соединением
- Температура плавления эвтектического сплава ниже температуры, которая могла бы повредить компоненты общего узла, но все же выше температуры эксплуатации уже законченного узла.

Состав сплава также влияет на паяемость. Было установлено, что изменение состава Pb-Sn сплава

воздействует на размеры участка распределения припоя, при его нанесении на очищенную медную поверхность.

На Рисунке 3-2 показано, как добавление Sn к Pb (до определенного состава) снижает поверхностное натяжение между припоем и материалом подложки.

3.4.4.3 Размер частиц порошкового припоя Чем меньше диаметр частиц порошка, тем больше площадь поверхности, которая должна быть очищена флюсом.

Рисунок 3-2 Влияние состава сплава на область распределения

Рисунок смотри в оригинале.

Если количество флюса будет недостаточным для полного удаления окисления с порошкового припоя, то результатом будет уменьшение смачиваемости.

3.4.5 Краткое резюме Смачиваемость паяльной пасты зависит от следующих факторов: покрытия поверхности платы, металлизации компонента, процедуры пайки, паяльного сплава и флюса.

3.5 Испытание на паяемость К целям испытания на паяемость, проводимого с паяльной пастой, относится и оценка смачивающей способности пасты. Существуют и другие факторы, влияющие на паяемость, такие как качество металлических оснований, выводы и контакты компонентов. Для оценивания данных материалов пользователю предлагается обратиться к стандартам J-STD-002 и J-STD-003.

3.5.1 Проверка смачиваемости паяльной пасты Смачивающая способность паяльной пасты определяется по методу 2.4.45 стандарта IPC-TM-650, а критерии оценивания приведены в стандарте J-STD-005. Данная проверка позволяет оценить эффективность смачивания паяльной пастой поверхности, подвергаемой пайке.

3.5.2 Документация по проведению испытания на паяемость Методы измерений и измерительные системы, которые могут быть использованы для проведения оценки паяемости, приведены в стандартах J-STD-005, J-STD-002 и J-STD-003. В Таблице 3-2 перечислены широко применяемые методы проведения испытаний на паяемость.

3.5.2.1 Специальные методы проведения испытаний на паяемость Ниже приведены некоторые другие методы испытаний паяемости, которые могут заинтересовать пользователя:

- ***Анализ методом последовательного электрохимического восстановления (SERA)*** Это хронопотенциометрический метод, который заключается в последовательном восстановлении оксидов на поверхности в зависимости от их электродвижущими восстановительными потенциалами. Этот метод позволяет определить тип оксида на поверхности и его толщину. Несмотря на то, что в промышленности этот метод считается стандартным средством проведения испытания на паяемость, в некоторых случаях проявилась его особая ценность.
- ***Проверка с использованием керамической пластинки*** (модификация тестового метода ТМ 2.4.43 стандарта IPC) Проверка с использованием керамической пластинки - другой способ, который может быть использован для оценки смачиваемости паяльной пасты.

Таблица 3-2 Стандартные методы проведения испытаний на паяемость

Название проверки	Проверяемый компонент	Справочные документы	Комментарии
Проверка погружением края	Печатная плата, вывод	J-STD-003 MIL-STD-203 MIL-STD-883 IPC-S-803 IEC-68-2-20	Визуальная оценка; наиболее распространенный в промышленности; самый дешевый метод
Баланс смачиваемости	Вывод	J-STD-003 MIL-STD-883 IEC-68-2-20	Количественный; с использованием диаграмм; дорогостоящий
Капельный тест	Вывод	J-STD-003 IEC-68-2-20	Числовая оценка для флюса, припоя и т.д.
Поворотное погружение	Печатная плата	J-STD-003	Визуальная оценка
Всплытие припоя	Печатная плата	J-STD-003	Визуальная оценка
Наплыв припоя	Печатная плата	J-STD-003	Визуальная оценка
Проверка распределения	Паяльная паста	J-STD-005	Визуальная и количественная оценка

Данная проверка заключается в припечатывании бруска паяльной пасты к несмачиваемой поверхности, такой как керамическая пластинка. Затем компонент с выводами с заведомо хорошей паяемостью, например SOIC (ИС в корпусе типа SO) или QFP, размещаются на бруске и паяются. Смоченность выводов компонентов паяльной пастой оценивается визуально на наличие несмоченных или утративших способность смачиваться после пайки участков. Проверка проводится с интенсивностью нарастания температуры и временем выдержки, сильно приближенными к действительным условиям проведения производственного процесса. Наличие несмачиваемых участков может указывать на существование проблем, связанных либо с паяльной пастой, либо с условиями проведения технологического процесса.

3.5.3 Выбор метода проведения испытаний на паяемость В данном разделе перечислены некоторые переменные величины, которые необходимо принимать во внимание при проведении испытаний, приведенных в данном справочнике. Результаты каждого испытания зависят от взаимодействия данных параметров. Для получения достоверных результатов следующие факторы должны обязательно контролироваться:

- ***Метод*** Подходящие методы испытаний перечислены в стандарте IPC-TM-650.
- ***Оборудование*** Рекомендации по оборудованию, которое будет использоваться при проведении испытаний, содержатся в применяемых стандартах, прочее допустимое к использованию оборудование, применяется в некоторых случаях. При использовании любого оборудования в целях проведения оценки рекомендуется провести калибровку оборудования согласно какому-либо известному или приемлемому стандарту. Как и при проведении всякого испытания, повторяемость и воспроизводимость должны учитываться до получения и одобрения результатов.
- ***Материал*** Данный фактор может считаться наиболее критичной областью оценки. Взаимодействие материалов , их подготовка,

хранение, транспортировка и реакционная способность могут привнести в процесс оценивания факторы, не поддающиеся контролю. особые случаи отмечены в разделе Среда данного руководства.

- ***Рабочая сила*** Данный фактор также необходимо принять во внимание. Ключевым при получении точных оценочных данных является понимание того, как следующие вопросы могут влиять на оценивание. Обучение, ознакомление, взаимодействие, сотрудничество и мотивация могут быть источниками изменений. Каждому, кто участвует в оценивании, необходимо обратить внимание и подумать над этими вопросами до начала проведения оценки.
- ***Среда*** Как отмечалось ранее среда может влиять на изменчивость результатов проверки. В некоторых методах условия проведения испытаний определены детально. Если условия не оговорены специально, предлагается вести в процессе оценивания их письменный учет. Сюда относят температуру, влажность, воздушно-газовую среду и источники загрязнений, каждый из этих факторов может оказать значительное воздействие на химические, механические и электрические проверки.

4 ТРАФАРЕТНАЯ ПЕЧАТЬ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТОЙ

Трафаретная печать, вероятно, наиболее сложный в исполнении аспект, с точки зрения применения паяльной пасты. Назначение данного раздела руководства заключается в объяснении основных характеристик, контролирующих распределение паяльной пасты.

Процесс печати управляется двумя параметрами паяльной пасты:

- реологические свойства
- характеристики растворяющих веществ

Чаще всего, первый считают наиболее критичным, и даже на сегодняшний момент сделаны лишь небольшие успехи в вопросе соотнесения реологических свойств паяльной пасты (которые представляют собой сочетание псевдопластичных, тиксотропных и вязкоупругих характеристик) с печатью. Наиболее трудный аспект – это тиксотропность пасты, так как замедление процессов расплавления пасты и ее затвердевания чаще всего происходят в том же масштабе времени , что и цикл печати.

Растворяющее вещество характеризуется как выбросом паров в воздушную среду (испаряемостью), так и впитыванием влаги паяльной пастой. Данное впитывание особо критично для эксплуатационных характеристик смываемых водой паст, хотя даже неочищенные пасты могут демонстрировать затвердевание в условиях высокой влажности. За последние пять лет инновации некоторых изготовителей устройств трафаретной печати, связанные с «защищенными печатающими головками» устранили существовавшее многообразие относительно летучести растворителя и впитывания влаги.

Размер частиц порошкового припоя также играет роль в печати с более мелким трафаретом, так как частицы примерно такого же размера как и отверстия, и могут проходить или не проходить сквозь них, что и приводит к возрастанию разнообразия.

4.1 Для печати необходимо Первостепенные технические условия для осуществления процесса печати:

- диапазон скоростей печати
- возможность одновременной печати с мелким и крупным шагом
- независимость от времени

Последний аспект является решающим при необходимости проведения трудоемкой, отнимающей много времени и, возможно, повреждающей трафарет очистке остатков паяльной пасты и нанесения новой. Временная нечувствительность имеет несколько причин:

- ***Время ожидания*** В идеале, объем печати даже самых маленьких участков независим от времени, даже после самых длительных (30 минут или более) перерывов в процессе печати. Данное понятие в трафаретной печати паяльной пастой носит обычно название «время ожидания», «печать после перерыва» или «время выдержки».
- ***Стекание пасты*** Форму для нанесения трафаретной печати требуется протирать в случае, если паста переходит в состояние низкой вязкости и начинает просачиваться на оборотную сторону формы. Необходимость протирания формы через каждые несколько циклов приводит к изменению объема выполненной печати.
- ***Срок использования формы*** Как долго паста может оставаться на форме или трафарете главным образом определяется растворяющим веществом.

4.2 Переменные величины Производители паяльной пасты должны предоставлять сведения по рекомендуемым параметрам печати для проведения сопоставительных оценочных испытаний их материалов. К параметрам относят:

- рекомендуемые настройки установки для трафаретной печати (угол и сила надавливания)
- диапазон скоростей печати
- различная продолжительность выдержки
- конструкция формы, включая размер отверстий, форму отверстий, толщину самой формы и тд.
- тип резинового валика
- частота протирания оборотной стороны формы
- диапазоны влажности и температуры

4.3 Основные управляющие переменные Главным образом сюда относят все те переменные, которые приведены в Разделе 5 – Клейкость пасты – т.е. 'способность паяльной пасты удерживать компоненты' (ASPaRC). В процессе печатания "сырая" паяльная паста подвергается воздействию среды. Основная разница заключается в реологических свойствах пасты в случаях, когда материал либо раскатывается по поверхности формы или трафарета, либо остается недвижим.

4.4 Печатание В данном разделе описана оценка пригодности паяльной пасты для печатания по параметрам, рекомендуемым поставщиками пасты. Температурно-влажностный режим в камере должен быть в диапазоне, определенным производителем паяльной пасты. Незначительные изменения параметров могут потребоваться для оптимальной трафаретной печати.

4.4.1 Техническое оснащение

- установка трафаретной печати
- форма, изготовленная из нержавеющей стали, 0,15 мм [0,0059 д.] в толщину, содержащая модели корпусов типа QFP с размерами в 0,4 мм [0,0157 д.], 0,5 мм [0,0197 д.] и 0,65 мм [0,0256 д.]

(изготавливается форма для трафаретной печати и отверстия наносятся по определенным размерам).

- Плоская панель подложки и / или совместимые платы (Примечание: Конечные пользователи, по желанию, могут использовать формы для трафаретной печати и совместимые платы, в действительности применимые в производстве.)

4.4.2 Порядок осуществления действий

а. В начале проведения проверки, а также время от времени при запуске программы печати регистрируйте состояние температурно-влажностного режима в камере для определения условий среды при трафаретной печати. В идеале, температура в камере должна составлять около 25°С ± 2°С [77,0°F ± 3,6°F], а относительная влажность, при этом, должны быть 50% ± 10% или в диапазоне, определенном изготовителем паяльной пасты или согласованном между двумя сторонами. Будьте внимательны и убедитесь, что паста не попала на компоненты аппаратуры контроля за состоянием среды в камере.

б. До проверки паяльную пасту необходимо довести до температуры окружающей среды в камере путем размещения образца в водяном термостате с постоянной температурой или оставить образец на ночь в температурно-влажностном режиме камеры. Перемешайте пасту вручную в течении 30 секунд (примерно 30 оборотов) для получения однородной консистенции. Отметьте температуру пасты.

в. Установите параметры печати на установке для трафаретной печати согласно рекомендациям поставщика паяльной пасты.

г. Нанесите необходимое для проверки количество материала на форму для трафаретной печати перед валиком в направлении его движения. Количество материала должно быть строго выверено и на начало проведения испытания должно представлять собой цилиндр, примерно 1-2 см. шириной. Отметьте температуру пасты и состояние среды (температура и влажность).

д. Печать осуществляйте непрерывно (на плоских подложках), если необходимо корректируйте параметры. Если нужно, протирайте оборотную сторону формы, до достижения оптимальных характеристик процесса печати.

е. При оптимальных характеристиках печати обновите паяльную пасту (цилиндр, примерно 1-2 см. в шириной). После этого, больше не добавляйте пасту, если выполняется первая часть пункта ж. (печать с перерывами). При непрерывной печати добавляйте пасту по необходимости.

ж. При оптимальных параметрах печати сделайте 10 оттисков первоначально и после через 2 и 4 часа (паста остается на форме и подвергается воздействию условий окружающей среды), в течении которых образец находится в температурно-влажностном режиме камеры (если необходимо, печать может осуществлять при других временных интервалах). Отметьте температуру пасты, а также температуру и влажность внутри камеры с установкой для трафаретной печати. Выполнение этих действий способствует определению чувствительности пасты к условиям окружающей среды, срока службы формы и "ответной реакции пасты на перерыв в печати" при данных условиях.

з. Подобные наблюдения возникают также и при непрерывной печати. Для получения лучших результатов по ответной реакции пасты на перерыв в печати, оттиск должен оставаться нетронутым в течении примерно 60 минут. При помощи первых нескольких оттисков, выдержанных в бездействии в течении интервала времени, можно получить характеристики ответной реакции пасты на перерыв в печати.

4.4.3 Оценивание

а. При печати внимательно следите за распределением пасты по поверхности формы для трафаретной печати. Хорошая паяльная паста, как правило, легко раскатывается по поверхности формы при движении и надавливании валика.

б. В конце печатного цикла, обратите внимание на пасту в момент, когда валик отходит от поверхности формы. Большая часть пасты должна оставаться на форме, когда валик поднят и готов к выполнению следующего цикла печати. Если валик отходит на небольшое расстояние, то некоторое свисание пасты считается допустимым в конце цикла печати.

в. Периодически, после нескольких циклов и по прошествии нескольких часов, осматривайте отверстия на форме. Паста не должна забивать отверстия, так как это будет препятствовать нормальному ее распределению по поверхности подложки.

г. Все оттиски должны быть внимательно осмотрены через несколько минут после печати. Выборочно оттиски проверяются через 20 минут после нахождения в температурно-влажностных условиях камеры, при этом сильного отличия от результатов первого осмотра не должно быть. Каждый оттиск каждой модели корпусов типа QFP с размерами в 16, 20 и 25 мил должен быть проверен на наличие следующих дефектов: образование перемычек, стекание, неполный оттиск, неотчетливый оттиск, пропуск оттиска, клиновидный оттиск, вытянутость оттиска, наличие частиц материала вокруг оттиска и частота протираний.

д. Выберите несколько позиций и измерьте высоту полученных контактов. Высота пасты должна быть в диапазоне 20% (или другое установленное процентное соотношение) от толщины формы или в допустимых пределах.

е. Если в наличии есть автоматический инструмент измерения паяльной пасты, то выбранные критерии приемки и браковки должны быть установлены в диапазоне 70% – 80%.

ж. После каждого перерыва, по первым нескольким оттискам паста оценивается на ответную реакцию на перерыв в печати. Хорошей реакцией считается получение четких полностью выполненных оттисков сразу после времени выдержки.

з. Продолжительность времени за одну смену, в течении которой паяльная паста используется в печати, результаты которой считаются приемлемыми, является сроком, в течении которого пасту можно наносить на форму.

и. Периодически осматривайте пасту на форме после длительного воздействия окружающей среды. Высушивания или намокания пасты из-за влажности и / или температуры не должно наблюдаться.

к. Отметьте тип используемой установки для трафаретной печати (изготовитель и модель), форму для трафаретной печати (химо-травление, лазерная резка и тд.), а также параметры печати.

4.5 Параметры контроля качества печати при помощи паяльной пасты

4.5.1 Параметры печатной платы

- ***Искривление и плоскостность платы*** может влиять на уплотнение формы / платы, приводящее к

непоследовательному распределению объема пасты и просачиванию пасты на оборотную сторону формы.

- ***Высота трафарета для нанесения припоя*** может влиять на уплотнение формы / платы и на распределения объема паяльной пасты.
- ***Посадочные отверстия*** могут влиять на выравнивание формы и платы.
- ***Закупоренные сквозные отверстия*** могут влиять на уплотнение при поднятии формы.
- ***Защитное покрытие поверхности*** покрытие нанесенное методом HASL может воздействовать на закупоривание отверстий и образование навеса (на форме) около больших областей с гальваническим покрытием из-за чрезмерно выпуклой поверхности покрытия. Недостаточная плоскостность также может сбить с толку системы визуального контроля из-за слабых отражающих характеристик.

4.5.2 Параметры паяльной пасты

- ***Размер частиц порошка и их распределение*** Чрезмерное количество мелких частиц может увеличить вязкость, результатом чего может стать недостаточное заполнение отверстий и общее плохое качество печати. Крупные частицы могут забивать мелкие отверстия.
- ***Клейкость пасты*** Чрезмерная клейкость пасты может привести к прилипанию валика и закупорке отверстий. Результатом недостаточной клейкости пасты может стать дефект размещения.
- ***Срок использования пасты*** Короткий срок требует регулировки настроек параметров установки для трафаретной печати для компенсирования изменений пасты, что, в конечном итоге, может привести к засыханию пасты или к сдвигу при разжижении.
- ***Реологические свойства пасты*** оказывают влияние на распределение пасты, заполнение отверстий. Печать с мелким шагом требует использования материалов, чувствительных к сдвигу.

4.5.3 Параметры формы для трафаретной печати

- ***Метод формирования отверстий*** Химическое травление, лазерная резка или электротравление оказывают воздействие на качество распределения пасты и консистенцию.
- ***Толщина формы*** оказывает воздействие на распределение пасты, ее высоту и объем. Может привести к образованию перемычек или недостаточному выделению паяльной пасты.
- ***Эластичность при сборке*** оказывает воздействие на точность распределения пасты.
- ***Трапециевидная форма и гладкость стенок отверстий*** оказывают воздействие на качество распределения пасты, образование перемычек и недостаточное выделение паяльной пасты.
- ***Материал изготовления формы*** При изготовлении формы возможны несколько вариантов. Нержавеющая сталь, никель, латунь и каптон, все обладают уникальными характеристиками, способными улучшить процесс печати.

4.5.4 Параметры установки для трафаретной печати

- ***Тип валика*** Металл / полимер может воздействовать на объем пасты. Паста может оставаться на полимерных лопастях, в результате чего сократится объем.
- ***Скорость прокрутки валика*** может воздействовать на сдвиг пасты, изменение характеристик распределения пасты, заполнения отверстий и общее качество печати.
- ***Давление валика*** может воздействовать на уплотнение, количество оттисков, износ лопасти, а также угол лопасти.
- ***Угол размещения валика*** влияет на изменение характеристик распределения пасты и качество заполнения отверстий.
- ***Частота протираний оборотной стороны*** влияние на закупоривание отверстий, качество печати, просачивание, образование перемычек и шариков припоя будет различаться, в зависимости от того, насухо ли была протерта оборотная сторона.

4.5.5 Среда и оператор

- ***Температура*** Высокая температура приводит к растеканию пасты. Низкая температура может стать причиной недостаточной общей пригодности к печати.
- ***Влажность*** Высокая влажность говорит о чрезмерном поглощении влаги и приводит к сдвигу пасты и ее растеканию. Низкая влажность говорит о пересыхании пасты и ведет к недостаточной паяемости.
- ***Обращение с пастой*** Температура пасты в момент применения может повлиять на качество распределения, заполнения и выделения пасты. Продолжительность предварительного перемешивания перед нанесением может оказывать влияние на вязкость пасты и ее пригодность к печатанию.

5 СПОСОБНОСТЬ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ УДЕРЖИВАТЬ КОМПОНЕНТЫ (КЛЕЙКОСТЬ)

Понятие “клейкость” стало синонимичным тому, крепко ли паяльная паста удерживает на месте компонент в течении всех операций до образования паянного соединения. Однако, параметр, общеизвестный как “удержание” (максимальная сила удержания – термин, используемый в Методе 2.4.44 стандарта IPC-TM-650) все в большей степени стал считаться недостаточным индикатором фактора, просто известным как ‘способность паяльной пасты удерживать компоненты’ (ASPaRC). Важно различать эти два понятия.

5.1 Исходные данные «Проверка на клейкость» метода 2.4.44 стандарта IPC-TM-650 была разработана в конце 1980-х годов, в те времена, когда размещение компонента было сравнительно медленным процессом. Первой причиной, почему паяльная паста не была способна удерживать вывод на месте, было быстрое перемещение вперед монтажной головки. Выбранный метод испытаний, поэтому, был единственным, который выдавал в качестве измерений клейкости – максимальное усилие натяжения, как результат контролируемого растяжения.

5.2 Недостатки проверки клейкости Существующая в настоящее время проверка клейкости позволила сделать несколько предположений, наиболее важные из них:

- Максимальная сила растяжения при извлечении образца – действительный показатель ASPaRC в

производственном процессе монтажа на поверхность (SMT) (см. Рисунок 5-1).

- Наносимый при проверке слой толщиной 0,25 мм [0,0098 д.] в сегодняшней производственной среде считается неразумным.
- 300-граммовая сила вставки контакта при проверке считается нереально высокой.
- Проверка проводится крайне медленно, что способствует вязкой диссипации внешней силы, по сравнению с упругими характеристиками, наблюдаемыми время от времени при ультрабыстром размещении компонентов на печатной плате.

Рисунок 5-1 Экстенсиональная природа “клейкости”

Рисунок смотри в оригинале

- Отчет о “ресурсе клейкости” может быть трех разных видов, что исключает возможность сравнения результатов, полученных разными производителями.

5.3 Ресурс клейкости Несмотря на то, что основным понятием является ASPaRC, возможно, лучшим вариантом для описания периода времени после печати, в течении которого паста способна удерживать размещенные компоненты при стандартных операциях, является использование термина “ресурс клейкости”. К этому периоду времени относят высокоскоростные операции по захвату, транспортировке и установке компонентов (“чип-шутеры”), перемещение плат вручную и проведение операций по заполнению плат, и / или передвижение платы по конвейеру или на механическом укладчике. Изменение реологических свойств паяльной пасты практически всегда является губительным для эффективного применения пасты. Общий полезный срок службы пасты может быть охарактеризован четырьмя основными параметрами, назовем их A, B, C и D; смотрите Рисунок 5-2 и Таблицу 5-1. Это означает, что, если паста хранилась ненадлежащим образом, или много часов подряд подвергалась воздействию неблагоприятных условий на форме, то в результате это приведет к сокращению ресурса клейкости пасты.

Рисунок 5-2 Взаимосвязь различных факторов, воздействующих на срок службы паяльной пасты.

Рисунок смотри в оригинале

«Хранение» (A) и «Время нахождения пасты на форме для трафаретной печати» (B) рассмотрены в других разделах данного документа. «Начало периода действия клейкости» (C) и «Время выдержки» (D), однако, соответствуют данному разделу и могут быть объединены в одно общее понятие «ресурс клейкости» Тем не менее, у клейкости два аспекта:

- ***Начало клейкости (C)*** Период времени после трафаретной печати платы, в течении которого компоненты все еще могут размещаться на слое паяльной пасты без возможного их выпадения или образования открытых контактов при последующем оплавлении пасты.

Таблица 5-1 Основные контролируемые переменные, влияющие на срок службы паяльной пасты

	Параметр	Контролируемая переменная
A	Хранение	Время, температура, продолжительность перемешивания, упаковка
B	Время нахождения пасты на форме для трафаретной печати	Время, температура, влажность, скорость выделения газов из пасты,скорость печати, кол-во оттисков за час
C	Начало периода действия клейкости	Время, температура, влажность, скорость выделения газов из пасты, толщина слоя
D	Время выдержки	Время, температура, влажность, скорость выделения газов из пасты, толщина слоя, предварительный нагрев перед оплавлением

- ***Время выдержки (D)*** Период времени после размещения компонентов, в течении которого деталь находится на месте до образования окончательного соединения оплавлением.

D обычно дольше чем C; поэтому, большинство паяльных паст удерживают компоненты, уже размещенные, гораздо дольше времени, требуемого для заполнения компонентами платы. Сила слипания у некоторых паст может даже увеличиться, как только слой вокруг выводов начнет высыхать. Кроме того, В большинстве операций время между трафаретной печатью и размещением компонентов больше, чем между этапами размещения и оплавлением. Поэтому, время начала периода действия клейкости является важным фактором.

5.4 Способы увеличения клейкости Методы, используемые для увеличения клейкости (см. Метод 2.4.44 стандарта IPC-TM-650), не обязательно дают увеличение ASPaRC различий между двумя типами параметров.

5.5 Способы увеличения ресурса клейкости Разработчики паяльной пасты могут использовать разнообразные средства для достижения увеличения срока службы пасты. Ниже приведены возможные недостатки:

- ***Изменения в нагружении металла*** Уменьшение нагружения металла может привести к небольшому увеличению времени действия клейкости паяльной пасты, но при этом может измениться и ее текучесть.
- ***Низкая испаряемость растворителя*** Растворители, действующие при высокой температуре кипения (низкое давление насыщенного пара), также могут быть использованы в качестве средств по улучшению ресурса клейкости. Однако, иногда это может привести к увеличению количества загрязнений от флюса, накапливаемых в термостате наряду с прочими твердыми (ведущие к крайне частому ремонту) и жидкими веществами, которые могут попасть на законченные компонентные узлы. Реакцией производителей термостатов стала разработка многообразия различных средств удаления паров, образуемых от флюса, из термостата.

5.6 Контролируемые переменные Изначально, ASPaRC – свойство паяльной пасты, от этого также зависит состав используемого флюса. Однако, некоторые параметры могут

воздействовать на ресурс клейкости (в частности, на начало периода действия клейкости) Самые важные из них:

- ***Температура*** Более высокая температура позволяет растворителям улетучиваться быстрее, а также увеличивает скорость реакций оседания в случае высокой влажности.
- ***Поток воздуха*** Скорость выделение газов из паяльной пасты является другими фактором воздействия на скорость испарения растворителя.
- ***Влажность*** Высокая влажность может увеличить скорость, с которой водяной пар поглощается паяльной пастой. В случае использования водорастворимой пасты, нанесенное количество может растекаться, в соответствии с уменьшением вязкости флюса. Неочищенные пасты, с другой стороны, могут затвердевать. В обоих случаях, ресурс клейкости значительно уменьшается.
- ***Толщина слоя*** С пасты, нанесенной более толстым слоем, растворитель испаряется медленнее и может образовывать корку на поверхности при высокой влажности, запирая липкую паяльную пасту внутри. Более тонкие слои быстрее засыхают.

5.7 Усовершенствованная проверка

5.7.1 Контроль в процессе изготовления Каждая паяльная паста может по-разному вести себя при различных условиях среды. С точки зрения пользователя, более ценным является испытание, проведенное в реальных условиях производства, чем в лабораторной среде. Может оказаться, что состав пасты X в условиях лаборатории обладает низкой клейкостью, но может превосходить по характеристикам другие составы в условиях конечного использования.

5.7.2 Руководство по проведению испытаний пользователем Каждое новое испытание должно стремиться имитировать условия производства. Учитываются следующие факторы: толщина слоя, давление при размещении, вопросы, указанные выше, касающиеся условий среды, размеры деталей / контактных площадок и величины внешних воздействий.

Идеальное испытание должно включать обе части (начало срока службы, C и время выдержки, D) вопроса, связанного с ресурсом клейкости. Испытание должно определять усилие, необходимое для сдвига детали с места. Также на испытании определяется время, в течении которого паста будет удерживать деталь при воздействии данного усилия сдвига.

Если установлено соотношение между размером, весом, опорной поверхностью детали и усилием сдвига, и напряжение при свиге, осуществляемым наиболее мощным манипулятором для захвата, транспортировки и установки, определено, то может быть использовано типовое испытание.

Простая, чаще всего используемая, проверка включает проведение трафаретной печати, а затем каждые 30 минут попытки установки вручную корпуса PLCC с J-образными выводами на плату. Вес в 10 грамм [0,35 унции] быстрым движением устанавливается на поверхности детали, максимально имитируя усилие размещения. Затем плата медленно вращается для того, чтобы проверить держится ли компонент. Время, после которого компоненты перестают падать с поверхности платы, определяется как время, технически необходимое для приклеивания детали. Детали с J-образными выводами вляются хорошим проверочным материалом, благодаря высокой нагрузке, оказываемой ими на область контакта. Учитываются следующие параметры: фактическое усилие при установке, скорость вращения платы и изменение количества движения при остановке. Как только это испытание проводится на производственном участке, оно становится функциональным и применимым только в данных определенных условиях.

Вышеупомянутая проверка не охватывает все возрастающее количество общих полных отказов: деформация сдвигом или перемещением компонентов при использовании мощных манипуляторов захвата, транспортировки и установки. Быстрое ускорение и торможение вдоль осей x-y при высокоскоростной установке – главная область, представляющая интерес для пользователей паяльной пасты. Была предложена простая, но эффективная проверка, имитирующая усилие сдвига. Первая часть испытания включает кренование, как и в испытании, описанном ранее. На поверхности размещаются несколько металлических электродов методом перевернутого кристалла (MELFs) и отмечается количество выпавших элементов. Вторая часть проверки – испытание на удар, при котором плата роняется с зафиксированного расстояния на бок, для имитации условий при быстром перемещении платы.

6 ТЕКУЧЕСТЬ

В данном разделе содержится руководство по сранительной оценке текучести паяльной пасты. Испытательные операции разрабатываются на основе стандартных условий поверхностного монтажа, с акцентом на сравнение типов паяльных паст или партий одной и той же пальной пасты. Текучесть, в контексте поверхностного монтажа, представляет ситуацию, при которой вязкость слоя паяльной пасты недостаточно высока для сопротивления силе гравитации. При появлении текучести, паяльная паста будет стекать каплями на круглую форму с широким основанием. Сильная текучесть может привести к образованию перемычек из жидкой паяльной пасты между контактными площадками. Текучесть воздействует на процессы несколькими способами: припойные перемычки чаще всего образуются при оплавлении или формируются соединения, отбраковываемые из-за затекания припоя, а также увеличиваются случаи образования шариков или наплывов припоя. По текучести паяльные пасты могут быть поделены на несколько типов:

- ***Свежие и выдержанные пасты*** Паяльная паста для поверхностного монтажа разработана таким образом, что при сдвиге вязкость уменьшается, а снятии усилия сдвига паста восстанавливает свою вязкость. Данное реологическое свойство называется тиксотропность. Благодаря этому тиксотропному свойству свежая паяльная паста, в сущности, обладает более высокой вязкостью, чем выдержанная паста или та, к которой уже прилагалось усилие сдвига. Если вязкость паяльной пасты не восстанавливается после снятия усилия сдвига, тогда возрастает вероятность возникновения текучести.
- ***Текучесть в холодном и горячем состоянии*** Определение, где имеет место текучесть, очень важно для выбора нужного решения данной проблемы. Текучесть, возникающая после трафаретной печати и до помещения в камеру для оплавления, называется текучестью в «холодном

состоянии». Если текучесть возникает внутри камеры для оплавления, в результате увеличения температур, этот феномен носит название «текучести в горячем состоянии».

Примечание: У ассоциации IPC есть стандартный образец для проведения испытания на текучеть IPC-A-20/21, который может с успехом применяться наряду с испытаниями, проводимыми в условиях производства.

6.1 Техническое оснащение для проведения испытания на текучесть

- установка трафаретной печати при помощи паяльной пасты
- форма, изготовленная из нержавеющей стали, 0,15 мм [0,0059 д.] в толщину, содержащая модели корпусов типа QFP с размерами в 0,4 мм [0,0157 д.], 0,5 мм [0,0197 д.] и 0,65 мм [0,0256 д.] с соответствующей плоской подложкой. Для проведения данного испытания подходят платы, используемые в производстве, с мелким отверстиями.

6.2 Порядок осуществления действий при проведении испытания Температурно-влажностный режим должен фиксироваться в начале проведения испытания и при каждом перерыве для определения условий проведения трафаретной печати. В идеале, температура в камере должна быть примерно 25°C ± 2°C [77°F ± 3,6°F], а относительная влажность составлять 50% ± 10% или быть в диапазоне, определенном производителем или согласованном между двумя сторонами.

а. До проверки паяльную пасту необходимо довести до температуры окружающей среды в камере путем размещения образца в водяном термостате с постоянной температурой или оставить образец на ночь в температурно-влажностном режиме камеры. Перемешайте пасту вручную в течении 30 секунд (примерно 30 оборотов) для получения однородной консистенции. Отметьте температуру пасты.

б. Настройте параметры установки для трафаретной печати в соответствии с рекомендациями поставщиков или выберите настройки, при использовании которых в предыдущий раз были получены хорошие результаты.

в. Для проверки нанесите примерно 350-400 грамм материала на форму для трафаретной печати перед валиком в направлении его движения. Количество материала должно быть строго выверено и на начало проведения испытания должно представлять собой цилиндр, примерно 1-2 см. шириной. Отметьте температуру пасты и состояние среды (температура и влажность).

г. Для проверки используйте формы и платы из одной и той же партии. Разные способы травления при изготовлении форм и плат могут влиять на результаты.

д. Печать осуществляйте непрерывно (на плоских подложках), если необходимо корректируйте параметры, для достижения оптимальной эффективности печати. Если нужно, протирайте оборотную сторону формы. Отметьте выбранные настройки и финальную частоту протираний. Данная оптимизация препятствует ошибочному толкованию плохого качества печати результатом текучести.

е. Когда эффективность печати находится на оптимальном уровне, очистите форму и направляющую валика. Запустите процесс печати со свежей (не использованной до этого), но выдержанной (в температурно-влажностном режиме камеры) паяльной пастой. Добавьте достаточное количество пасты для образования цилиндра, шириной в 1-2 см.

ж. Зафиксируйте показатели температуры и влажности внутри установки для трафаретной печати.

з. Отключите функцию автоматического протирания. При оптимальных параметрах сделайте 10 оттисков и отложите в сторону для проведения оценки (эти платы маркируются как *свежие* платы). Зафиксируйте время.

и. Установите цикл перемешивания пасты на 100, проведите цикл, выньте и очистите платы и оборотную сторону формы, отпечатайте 10 пробных образцов и отложите для оценки (эти платы маркируются как прошедшие *цикл перемешивания 100*). Зафиксируйте время.

к. Установите цикл перемешивания на максимум (обычно 999) проведите цикл, выньте и очистите плату и оборотную сторону формы, отпечатайте 10 пробных образцов и отложите для оценки (эти платы будут маркироваться как прошедшие *цикл перемешивания 999*). Зафиксируйте время.

6.3 Проведение оценки

6.3.1 Текучесть в холодном состоянии После первоначального осмотра всех 30 плат, отложенных для оценки, по 5 плат из каждой группы (свежие, прошедшие цикл 100 и цикл 999) необходимо поместить в безопасное место для хранения. Осмотр плат проводите каждый час в течении четырех часов. Полученные результаты помогут определить, подвержена ли паяльная паста текучести в холодном состоянии.

6.3.2 Текучесть в горячем состоянии Возьмите еще по 5 плат из каждой группы и поместите в условиях повышенной температуры. Рекомендуется использование нагревательных плит и термошкафов, нагретых до 30-100°C. Также допустимо использование высоких температур наружного воздуха или размещение плат на шкафу для оплавления. Осмотр плат проводите каждый час в течении четырех часов. Полученные результаты помогут определить, подвержена ли паяльная паста текучести в горячем состоянии.

6.3.3 Характеристики текучести В большинстве случаев для определения характера текучести необходимо проводить визуальный осмотр. Большинство автоматических систем контроля не способны отличить текучесть от прочих возможных дефектов, а также оценить степень распространения. Так как требуемый визуальный осмотр может быть субъективным, необходимо использовать контрольные материалы, позволяющие провести непосредственное сравнение.

6.3.4 Визуальный осмотр Осмотрите визуально все контактные площадки с мелким шагом на наличие четырех основных признаков текучести. Отметьте степень распространения, частоту появления и места расположения каждой области с обнаруженной текучестью.

- ***Округление*** Округление слоя пасты указывает, но не дает гарантий, что паста растечется. Округлением называется размягчение острых краев слоя пасты. Имейте в виду, что чаще всего округление происходит у паст, хранение которых производилось в условиях повышенной температуры. Поверхностное натяжение флюса может препятствовать фактическому переходу округления в текучесть. Чрезмерное подвергание слоя пасты пиковым режимам способно замаскировать округление и, поэтому, не должно учитываться.
- ***Просачивание флюса и перемычки флюса*** Эти признаки также указывают, но не дают гарантий,

что паяльная паста будет растекаться. Просачивание флюса возникает, если слой пасты не поврежден, но флюс возникает на поверхности в виде пузырьков или с поверхности пасты натекает на контактные площадки или трафарет. Часто с течением времени слой становится более блестящим. Обширное просачивание флюса может привести к образованию перемычек между контактными площадками. Ключевой характеристикой, которая отличает данный феномен от текучести пасты, является то, что в образовавшихся натеках не обнаруживается порошок. Если порошок не смещается с поверхности контактной площадки, то повреждения не возникает.

- ***Вытекание*** Вытекание пасты за пределы границ контрактной площадки и ее попадание на платы или трафарет является реальным проявлением свойств текучести и может привести к дефектам.
- ***Перемычки из жидкого вещества*** – наиболее серьезные последствия текучести пасты. Перемычки образуются при соединении пастой двух контактных площадок.

6.4 Дифференцирование Установление различий между рабочими характеристиками материалов достигается не только путем оценивания вариантов возникновения феномена, но и его объема и места распределения каждого. Отсканированные или фотокопии изображения тестовой платы должны предоставляться инспекторам, чтобы они могли отметить места появления перемычек. Кроме того, им необходимо обратить внимание на то, как расположены контактные площадки, на которых возникают перемычки, параллельно или перпендикулярно расположению валика. Чаще всего перемычки из паяльной пасты возникают на контактных площадках, перпендикулярных расположению валика.

6.5 Основные контролируемые переменные Ниже перечислены факторы, которые, вероятнее всего, оказывают воздействие на частоту возникновения текучести:

- ***Тиксотропность паяльной пасты*** Паяльная паста – это уникальный материал, при чем для обеспечения хорошего качества печати необходима низкая вязкость, а для получения четких контуров при печати и сопротивления текучести необходима высокая вязкость. Тиксотропность – это характеристика изменения жидкости, позволяющая паяльной пасте достигать состояния как низкой , так и высокой вязкости. Внутри установки для трафаретной печати ход раскатывающего валика вызывает сдвиг паяльной пасты. Усилие сдвига снижает вязкость пасты и позволяет пасте растекаться и полностью заполнять отверстия. Затем паяльная паста должна восстановить высокую вязкость для сопротивления текучести. Паяльная паста с низкой тиксотропностью должна быть доработана таким образом, чтобы обладать более низкой вязкостью для соответствия характеристикам печати. Такая комбинация низкой тиксотропности и низкой вязкости приводит к увеличению вероятности возникновения текучести.
- ***Металлическое нагружение паяльной пасты*** Было выявлено, что увеличение нагружения паяльной пасты металлом значительно снижает вероятность возникновения текучести в горячем состоянии. Паяльная паста состоит из металлического порошка и флюса. Как только температура слоя паяльной пасты увеличивается, вязкость компонентов флюса в паяльной пасте уменьшается. Вязкость компонентов порошка в пасте не уменьшается до тех пор, пока они не перейдут в жидкое состояние, и в этот момент, поверхностное натяжение и сила смачивания достаточно высоки для сопротивления текучести. В следствии этого, чем больше флюса (меньше металлическое нагружение) в паяльной пасте, тем выше вероятность понижения вязкости, достаточного для появления текучести при условиях повышенных температур.
- ***Размер частиц паяльной пасты*** Для проведения типовых операций поверхностного монтажа стандартным является порошок типа 3 (-325/+500 гранул). Более мелкие частицы паяльная пасты, в действительности, могут сократить вероятность возникновения текучести, так как они увеличивают вязкость. Однако, такие мелкие частицы паяльной пасты могут привести к возникновению других проблем, таких как, например, увеличению образования шариков припоя или недостаточной смачиваемости.
- ***Температура и скорость ее изменения*** Как только температура слоя паяльной пасты увеличивается (если образец находится внутри установки для оплавления), происходят две вещи. Во-первых, у большинства материалов с постоянным составом, включая паяльную пасту, уменьшается вязкость (эффект теплового возмущения), независимо от времени. Такое уменьшение вязкости при увеличении температур обычно приводит к текучести. Однако, увеличение температуры также приводит к испарению растворителя, то есть той части паяльной пасты, обладающей низкой вязкостью. Результатом улетучивания растворяющего вещества становится увеличение вязкости паяльной пасты, но для этого необходимо как повышение температуры, так и добавление времени для прохождения фаза перехода из жидкого состояния в парообразное. Использование низкой скорости возрастания нагружения в установке для оплавления, менее 1 – 1,5°С/сек [1,8 – 2,70°F/сек] позволяет испарению растворителя усилить противодействие уменьшению вязкости, вызванному эффектом теплового возмущения и сократить вероятность возникновения текучести в горячем состоянии.
- ***Влажность и влагостойкость*** Впитывание влаги паяльной пастой приводит к увеличению вероятности текучести, а также к другими дефектам. Количество влаги, впитываемой паяльной пастой, зависит от следующих параметров. Высокая влажность означает, что большое количество влаги содержится в воздухе и, следовательно, большее количество влаги доступно для впитывания паяльной пастой. Как правило, паяльные пасты разработаны таким образом, что могут использоваться при относительной влажности в 30 – 50%. Способность паяльной пасты

функционировать нормально при более высокой влажности зависит от гигроскопической природы каждого отдельного состава. Например, водорастворимые паяльные пасты обычно обладают более высокими гигроскопическими свойствами, чем неочищенные флюсы в паяльных пастах, и менее чувствительны к повышению уровня влажности. Кроме того, использование паяльной пасты, температура которой значительно ниже температуры внутри установки для печати, может привести к образованию конденсата на паяльной пасте, результатом чего станет более высокий уровень впитывания влаги и увеличение текучести.

Примечание: Вязкость не была перечислена как контрольный параметр. Вязкость паяльной пасты, согласно испытаниям, проведенным по стандарту J-STD-005, и перечням технических характеристик большинства материалов, не может быть использована для проведения оценки вероятности возникновения текучести паяльной пасты. Вязкость играет первичную роль в формировании феномена текучести, но не может быть указана как контрольный параметр, так как зависит от всех факторов, перечисленных выше.

7 СБОР И УДАЛЕНИЕ ПАРОВ ОТ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ

В данном разделе содержится руководство по оцениванию совместимости паяльной пасты с условиями окружающей среды внутри установки для оплавления.

7.1 Исходные данные Все паяльные пасты содержат ингредиенты, которые улетучиваются или испаряются во время оплавления. Эти пары загрязняют атмосферу внутри установки и вытяжной системы, а также могут накапливаться в виде осадка внутри установки или в среде. Данный осадок способен загрязнить изделия, привести к ухудшению эксплуатационных качеств оборудования, а также быть опасным для персонала. Пары, выделяемые паяльной пастой, и осадок должны контролироваться, собираться и удаляться в соответствии со всеми применимыми правилами техники безопасности и природоохранительного законодательства.

Существует несколько соображений, на которые необходимо обратить внимание пользователю при оценке паяльной пасты. К ним относят сбор паров, выделяемых флюсом, и осадка в любой вытяжной системе установки для оплавления, токсичность собранных материалов, а также частота и стоимость эксплуатации системы.

7.2 Сбор паров, выделяемых флюсом Летучие ингредиенты паяльной пасты выделяются при температурах, определяемых термо-гравиметрическим анализом (TGA) пасты. TGA предоставляет график потери массы относительно температуры при нагреве паяльной пасты. Вся исходная паяльная паста, которая не остается на изделии как оплавленный припой или осадок флюса, оказывается в атмосфере установки для оплавления. Все эти пары и осадок должны собираться установкой или ее вытяжной системой при полощи специального устройства сбора. Газы от различных паяльных паст собираются в виде пара, жидкости или твердого вещества (смолы) в зависимости от ингредиентов и температуры.

7.3 Токсичность осадка Собираемые пары или осадок могут содержать токсичные или вредные ингредиенты в концентрации, превышающей показатели у исходной паяльной пасты. Химический состав данного осадка может также быть изменен в процессе оплавления в окислительной газовой или инертной среде. Кроме того, собранные осадки паяльной пасты могут объединяться вместе с парами от органических защитных покрытий, предохраняющих от пайки (OSP) и другими летучими компонентами материалов. В результате, собранные осадки могут быть вредными и токсичными. необходимо принимать соответствующие меры для обеспечения безопасности операций и технического персонала.

7.4 Техническое обслуживание системы сбора Обслуживание установки для оплавления, и ее систем сбора и охлаждения, может быть, в значительной мере, изменено характеристиками используемой паяльной пасты. И количество летучих веществ в паяльной пасте, и физические характеристики необходимо принимать во внимание при определении стоимости проводимого обслуживания. Все работы по сбору и удалению паров от паяльной пасты и осадка необходимо проводить согласно правилам техники безопасности.

8 ОБРАЗОВАНИЕ КОМКОВ ПРИПОЯ

Наряду с тем, что на образование комков, наплывов и пузырьков припоя в процессе оплавления могут оказывать воздействие несколько факторов, введение в электронную промышленность процессов производства без проведения очистки также дало рост большему количеству уровней образования комков припоя.

Образование комков представляет собой отделение от основной массы соединения одной или более частей сферической формы со стандартным диаметром около 0,5 мм [0,020 д.] или менее того. При выполнении очистки печатного узла после проведения пайки комочки припоя не представляют какой-либо значительной угрозы надежности электронике, так как при очистке они смываются. Однако, остатки неочищенного флюса не удаляются с компонентов после пайки, и, поэтому, любые комочки припоя, остающиеся на плате, обычно блокируются флюсом.

Стандарт IPC-A-610 классифицирует образование комочков припоя как дефекты у всех классов сборки, в случае если они:

- Подвижные (не заблокированы флюсом), и, следовательно, могут вызывать короткие замыкания между соседними контактными площадками или медными токопроводящими дорожками на плате с печатной схемой, и / или
- выходят за границы минимального расстояния между двумя проводниками.

Поэтому, обязательным является принятие необходимых мер для предотвращения их появления. С внедрением мелкомодульных технологий, таких как присоединение пассивных элементов 0402 и 0201, корпусов кристаллов и непосредственный монтаж (CSP, DCA) становится невероятно важным исключение образования комков в процессе сборки.

8.1 Испытания на образование комочков припоя Существующий в настоящее время метод ассоциации IPC для проверки образования комочков (Метод 2.4.43 стандарта IPC-TM-650) требует использования разных форм трафаретной печати в зависимости от размера частиц:

- Для паст, содержащих частицы порошка размером 1-4: форма, толщиной 0,1 мм [0,0079 д.], с минимум тремя круглыми отверстиями 6,5 мм [0,256 д.] в диаметре.

- Для паст, содержащих частицы порошка размером 5–6: форма, толщиной 0,1 мм [0,0039 д.], с минимум тремя круглыми отверстиями 1,5 мм [0,059 д.] в диаметре.

Некоторые образцы помещаются на нагреваемую пластину и сразу же паяются в то время, как складываются на хранение на 4 часа в температурно-влажностных условиях установки при 50% относительной влажности. На последних можно будет наблюдать образование пузырьков при проведении испытания на нагревающейся пластинке. Ниже приведены критические аспекты существующих методов оценки образования комочков припоя:

- Это качественный метод и поэтому результат зависит от оператора.
- Размеры слоя не соответствуют стандартным размерам слоя паяльной пасты.
- Отсутствие предварительного нагрева или повышения температур означает простоту проведения испытания в случае отсутствия разбрызгивания припоя (пузырьков).

Последнее осложняется быстрым нагревом, особенно в случае с водорастворимыми пастами.

8.2 Образование комочков припоя Как уже говорилось ранее, есть некоторые проблемы, связанные с существующими в настоящее время методами проведения испытаний, так как оценивается только один вид образования комочков припоя, обычно наблюдаемый. На самом деле, за образование комочков при оплавлении отвечают четыре основных механизма:

- образование капель припоя
- неоднородность паяльной пасты
- образование пузырьков
- отсутствие слипания

8.2.1 Капли припоя Образование капель припоя (также, известных как 'капиллярные капли', 'боковые капли', 'выдавленные капли') можно наблюдать около дискретных компонентов с небольшим зазором и большой контактной площадкой с минимальным разделением (обычно это бескорпусные конденсаторы резисторов). Капли – это результат действия нескольких факторов, включая объем используемой паяльной пасты, процедуру оплавления и процесс установки компонента; смотри Рисунок 8-1.

Рисунок 8-1 Капли припоя

Рисунок смотри в оригинале.

Капли образуются в результате выдавливания паяльной пасты из под компонента при его установке. Припой заблокированный под компонентом не может смачивать ни микросхему ни материал платы. Поверхностное натяжение снижает площадь поверхности расплавленного припоя, вытесняя его из под компонента.

Выдавливание пасты может быть уменьшено путем изменения мест нанесения отверстий на форме трафаретной печати. Если только металлизированные выводы микросхемы соприкасаются с припоем после установки компонентов, то вся паста должна прилипать к выводам компонента. Это достигается путем уменьшения количества используемой при печати паяльной пасты.

8.2.2 Неоднородность состава паяльной пасты

Подобно образованию капель припоя, неоднородность представляет собой отделение маленьких шариков припоя от основного слоя при текучести, либо в холодном состоянии, либо в горячем состоянии (так как паяльная паста расширяется при нагревании). Сила тяжести выталкивает припой на поверхность непаяемых областей (например, трафарета для нанесения припоя) и образуются шарики, большие по размеру чем отдельные частицы, первоначально присутствующие в пасте. Паяльная паста также может просачиваться с оборотной стороны формы, попадать на трафарет и образовывать шарики при последующем процессе оплавления. Неоднородность, поэтому, зависит от чистоты формы, текучести в холодном и горячем состояниях, толщины слоя пасты и прочих факторов.

8.2.3 Брызги припоя (Всплески) При оплавлении припой может разбрызгиваться, о чем свидетельствуют шарики припоя, найденные на расстоянии от контактных площадок, на которые помещалась паста. Шарики припоя, образовавшиеся в результате всплесков обычно примерно такого же размера как и частицы порошка в еще неиспользованной паяльной пасте.

Брызги припоя также могут появиться на поверхности из золота / никеля, на таких поверхностях это явление обычно называется «всплеск припоя». В зависимости от толщины покрытия из золота, брызги могут появиться как небольшие тускло серые участки, припоя (содержащие большое количество интерметаллического композита из олова/золота на разъемах с краями, покрытыми золотом (Рисунок 8-2-слева) или как блестящая металлическая 'яичница-глазунья' на поверхностях с тонким золотым покрытием (Рисунок 8-2-справа).

Рисунок 8-2 Брызги (всплески) припоя

Рисунок смотри в оригинале.

Механизм появления всплеска до сих пор не изучен до конца, но известно, что он может быть вызван быстрым нагревом паяльной пасты, что вызывает испарение растворителя, находящегося во флюсе паяльной пасты во время оплавления. Давление пара, сопровождающее течение данного процесса, вытесняет паяльную пасту, и, поэтому, слипания, необходимого для образования соединения, не происходит.

Поэтому, всплеск припоя может быть связан с быстрым улетучиванием растворителя или воды, быстрым выделением газа из химических элементов в покрытии платы, или даже низким уровнем кислорода при оплавлении. Хранение платы и качество ее изготовления также являются важными факторами, играющими роль в решении данной проблемы. Кроме этого, необходимо учитывать чистоту термокамеры.

8.2.4 Отсутствие слипания Образование шариков припоя согласно испытаниям, проведенным по методу 2.4.43 стандарта IPC-TM-650, не вызывается выше перечисленными факторами и обычно представляет собой один или несколько шариков паяльного порошка, не прилипшего к оплавленной поверхности паяльной пасты. В худшем случае, это похоже на 'икринку', как хорошо это показано в стандарте IPC-A-610, согласно которому оплавляется только одна часть для образование соединения.

8.2.5 Методики определения состава Для уменьшения или исключения образования шариков припоя согласно испытаниям, проведенным по методу 2.4.43 стандарта IPC-TM-650, разработчикам паяльных паст предоставляется несколько вариантов для оптимизации состава. Ниже приведены возможные недостатки:

- ***Увеличение содержания твердых веществ во флюсе*** Это может вызвать проблемы, связанные с

вязкостью – стабильностью, а также с внешней поверхностью.

- ***Увеличение уровня активирующих веществ*** Это может вызвать кристаллизацию во флюсе или привести к реклассификации по принципу медного зеркала и, возможно, к проблемам, связанным с поверхностным сопротивление изоляции или электромиграцией, возникающим после процесса оплавления.
- ***Изменение типа активирующего вещества*** приводит к тем же самым проблемам, что и увеличение уровня активирующего вещества.
- ***Улучшение качества порошка*** Окисел на порошке и количество мелких частиц порошка (менее 20 μм [0,79 мил] в диаметре) могут быть одним из факторов определения количества шариков припоя.

8.2.6 Методики определения процессов Процессы могут также влиять на образование шариков припоя.

- ***Изменение профиля*** Изменение температуры для уменьшения образования шариков и комочков должно проводиться в соответствии с рекомендуемыми изготовителем пасты условиями.
- ***Изменение среды*** При уменьшении содержания твердого вещества или снижения уровня активирующего вещества может возникнуть необходимость в создании специальных условий среды с меньшем количеством кислорода, чем в стандартной среде с 21% содержанием кислорода.
- ***Проверка параметров*** Следующие условия помогают определить количество шариков припоя, образовавшихся в результате «отсутствия слипаемости»
- ***Предварительный нагрев*** Высокие температуры и более долгий период выдержки при этой температуре способствуют более быстрому испарению активирующего вещества. Большинство органических материалов обладает измеряемым давлением пара около 150°C [302,0°F]. Кроме того, окисление металлических поверхностей (паяльного порошка и выводов компонентов / контактных площадок) увеличивается под воздействием высоких температур в течении более продолжительного времени. Понижение температуры предварительного нагрева и уменьшение времени позволяет пасте оставаться жидкой в течении этапа оплавления. Это приводит к сокращению образования шариков припоя.
- ***Тип среды*** Среды с уменьшенным содержанием кислорода (азот) могут оказываться вероятное влияние на уменьшение и исключение возникновения определенных дефектов пайки, например образования шариков. Азот улучшает слипаемость без увеличения действия активирующего вещества пасты. Дополнительным достоинством азота является то, что исключает возможность повторного окисления поверхности после завершения первоначального действия активирующего вещества.
- ***Размер нанесенного слоя*** Более толстый слой пасты теряет активирующие вещества медленнее, чем более тонкие слои, из-за их меньшей площади поверхности.

8.3 Усовершенствованные испытания Любая новая разработанная проверка должна быть приближена к условиям производства. В любом новом испытании должны быть учтены следующие факторы:

- Размер слоя (толщина, широта и глубина), форма и расположение основания.
- Условия хранения (температура, относительная влажность %, локальная скорость потока) и время хранения оттисков
- Профиль оплавления (продолжительность/время предварительного нагрева) и среда
- Метод нагрева (внутреннее сопротивление / вынужденная конвекция / фаза испарения)
- Поверхность основания (например, припойный трафарет или защитное покрытие металлизации).

9 ДЕФЕКТ «ПЛИТЫ»

Один из наиболее часто встречаемых дефектов при поверхностном монтаже отдельных небольших пассивных элементов известен как дефект «надгробной плиты», при котором угол присоединения компонента к поверхности платы приближается к 90°. Также этот дефект может называться «разводной мост» или «качающийся памятник», когда столбик припоя растягивается от нижней части поднятого конца компонента к поверхности контактной площадки, при этом угол обычно составляет менее 45°.

Данный дефект возникает при смещение небольшого по размеру компонента в процессе оплавления, как показано на Рисунке 9-1. Припой на одной контактной площадке оплавляется раньше, чем на другой, или возможна большая разница в количестве припоя на концах, что приводит к тому, что поверхностное натяжение на одном конце превосходит натяжение на другом. Как только припой на первой площадке начинает плавится, он смачивает металлическую поверхность компонента и притягивает его к контактной площадке, и таким образом компонент смещается и принимает вертикальное положение. Припой на противоположной стороне расплавляется только после того как одна сторона компонента приподнялась над поверхностью, и, поэтому, паянного соединения со второй контактной площадкой не образуется. Данный дефект возникает также в случае, если компонент был приподнят не полностью. В некоторых случаях компонент сдвигается или наклоняется или поднимается таким образом, что просто соприкасается с оплавляемым припоем и образует электрическое соединение, как показано на Рисунке 9-2. Этот дефект не проявится при электрических проверках или ICT, но может стать причиной отказа в процессе эксплуатации.

Рисунок 9-1 Компонент с дефектом «надгробной плиты»

Рисунок смотри в оригинале.

9.1 Причины возникновения дефекта На промышленных конференциях были представлены многочисленные работы, посвященные причинам возникновения дефекта «плиты». К факторам, оказывающим воздействие, относят схему контактной площадки, профиль оплавления, точность установки, условия камеры оплавления и среду, объем паяльной пасты и ее характеристики.

Основываясь на исследованиях, проведенных в различных отраслях промышленности, главным фактором оказывающим воздействие был признана схема опорной

поверхности контактной площадки печатной платы. Вторым фактором стало считаться нагружение платы при оплавлении внутри установки. Было выявлено, что внутри камеры для оплавления при нагружении платы или панели, содержащей медь, первыми нагреваться начинают участки с более высокой плотностью.

Рисунок 9-2 Дефект «разводной мост» или «качающийся памятник»

Рисунок смотри в оригинале.

При этом снижается разница температур между контактными площадками указанного компонента. Другие многочисленные публикации работ посвящены применению геометрии и схем размещения контактных площадок для урегулирования данной проблемы.

9.2 Уменьшение дефекта За последние несколько лет было издано большое количество работ, в которых описываются методы и способы решения проблемы минимизирования и исключения возникновения дефектов «надгробной плиты». В исследовании, проведенном Adriance и Schake (смотри Приложение А), используются планы экспериментов и при этом исследуются воздействия геометрии контактной площадки, ее размещения, химического состава флюса и условий среды на уменьшение дефекта на примере компонента 0201. В результате данной работы были даны следующие рекомендации:

- Оптимальный размер контактной площадки: 0,015 или 0,018 дюймов ширина и 0,012 дюймов длина
- Промежутки между контактными площадками 0,009 дюймов
- У компонентов, паяемых перпендикулярно к направлению применения нагрева, вероятность образования данного дефекта более высока
- Водорастворимые пасты на воздухе и пасты с низким содержание твердых частиц в условиях азота способствуют возникновению большего числа дефектов, чем пасты с низким содержанием твердых частиц на воздухе.

В результате, паяльная паста также играет важную роль. В добавление к уменьшению дефектов от водорастворимых паст и низкого содержания осадка, некоторые работы показали, что существуют различия между типами паяльной пасты, согласно работе Ganeshan (смотри Приложение Б), а также различные составы паяльной пасты, разработанные специально для сокращения числа дефектов, в соответствии с работой Toleno (смотри Приложение В). В данном руководстве эти работы приведены в качестве Приложений Б и В. Обычно в этих составах эффект достигается при использовании смешанного сплава. Данный сплав содержит частицы металлов, которые плавятся при двух различных температурах (например, Sn63 при 183°C [361,4°F] и Sn62 при 179°C [354,2°F]. Данная смесь в нужных пропорциях и соответствующим размером частиц образует паяльную пасту, которая начинает оплавляться при 179°C [354,2°F], но не полностью, а таки м образом, что паста «схватывается» и удерживает компонент. Затем основная масса припоя расплавляется при 183°C [361,4°F] и смачивает выводы и контактную площадку, образуя качественное паянное соединение. Единственным минусом является то, что места соединений немного неровные из-за того факта, что материал пластичный.

10 ОЧИСТКА ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ И ОСАДКА

Вопросы по очистке, задаваемые пользователями паяльных паст, обычно касаются следующего:

- Очистка формы с целью удаления паяльной пасты проводится по окончанию процесса трафаретной печати или когда форма забивается (неправильные оттиски). Операторы также обязаны очищать формы до проведения осмотра на повреждения или до печати испытательного образца или между этапами для увеличения качества печати.
- Очистка платы для удаления неправильно нанесенных оттисков. В этот момент паста не оплавляется, поэтому процесс удаления очень похож на очистку формы от паяльной пасты.
- Удаление осадка флюса, образовавшегося в результате оплавления, что может быть частью процесса исправления брака или, как и предполагалось обработкой по окончанию оплавления.

Ассоциация IPC разрабатывает руководство по проведению очистки форм, в котором будет содержаться вспомогательные материалы по первым двум вопросам. Третий вопрос, очистка различными способами осадка паяльной пасты после проведения пайки, детально рассмотрен в руководствах по очистке IPC-SC-60, IPC-SA-61, IPC-AC-62, IPC-CH-65.

10.1 Способы очистки и материалы Выбранный способ очистки должен быть приемлемым с точки зрения состава флюса паяльной пасты и его состоянию на момент очистки (неправильные оттиски или по окончанию пайки). Для водорастворимых паяльных паст, удаление осадка флюса является важным аспектом, если говорить о надежности устройства. Осадок такой паяльной пасты обычно включает ионно-содержащие и коррозионные компоненты. Неполное их удаление приведет к повреждению электронных узлов в секторе. Идеальный считается использование в процессе очистки платы горячей деионизированной воды. Объем воды и любых других дополнительно используемых очистительных средств должен гарантировать полное удаление осадка флюса.

Удаление осадка у паяльных паст с низким его содержанием вызывает большой интерес, так как позволяет увеличить время проведения последующих этапов, таких как нанесение конформного покрытия и герметизация, а в некоторых случаях осадок удаляется только ради галочки. Большинство паяльных паст в малым осадком оставляют после себя осадок нерастворяемый в воде. Следовательно, если для очистки используется только вода, то все к чему это может привести – это замещение осадка флюса на белый порошковообразный осадок. В некоторых случаях неполное смывание или удаление флюса с низким содержанием осадка может оказаться более вредным для платы, чем, если бы осадок остался на плате. Несмотря на то, что для этой цели может быть использован целый ряд очистительных составов, на водной основе, с нейтральной концентрацией ионов водорода, или приближенной к нейтральной, предпочтительным является использование совместимых составов летучих органических соединений, разбрызгивающихся в воздухе.

Однако, не все очищающие материалы могут удалять осадок со всех паст или пруткового припоя. Поставщики паяльных и очищающих материалов чаще всего знают, какие комбинации являются наиболее эффективными. Совместимость очистительного средства с материалом является ключевой для успешной очистки. Совместимость должна проверяться до того, как процесс будет применен в производстве.

11 СОВМЕСТИМОСТЬ ОСАДКОВ ФЛЮСОВ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ (ТЕСТИРУЕМОСТЬ ОБРАЗЦОВ)

В данном разделе содержится руководство по оценке совместимости осадков паяльных паст при помощи автоматического испытательного оборудования (АТЕ) и на внутрисхемной проверке. В АТЕ используется подпружиненные контакты («штыри»), со стандартной сжимающей силой от 2 до 110 грамм, которые образуют электрический контакт между проверяемым образцом и оборудованием, используемым для проверки. Осадок паяльной пасты может образовывать изоляционный барьер, приводящий к ложным результатам при функциональной проверке сборки на АТЕ.

Для формулирования необходимости в улучшенных паяльных пастах, на которых можно проводить проверку подпружиненными контактами, было объединено много факторов. Как только большая часть корпусов, монтируемых на поверхности очищены, проверка контактов вызывает уже меньше опасений. А так как в промышленности все больше начинают применять процессы без проведения очистки, наличие осадка паяльной пасты стало очевидным. Первоначально, инженеры старались свести проверку контактов к испытанию той стороны платы, где была пайка, или, когда двусторонняя пайка стала стандартом, они стали размещать контактные площадки, на которых проводится эта проверка, на расстоянии от соединений.

Однако, с увеличение плотности заполнения платы, в особенности для портативных персональных электронных устройств и телекоммуникационных средств, в настоящее время размещение испытательных контактных площадках непосредственно на плате стало дорогим удовольствием, и поэтому все контактные площадки остаются «вне платы». На данный момент все отрасли промышленности, связанные со сборкой электронных узлов, обратились к проблеме очистки или заняты поиском такой пасты, на основе которой действительно можно проводить проверку контактов.

11.1 Обзор плана проведения испытаний Рисунок 11-1 и Таблица 11-1 были специально разработаны в помощь пользователям при выборе типа испытания и его содержания, наиболее подходящих к процессу сборки, используемому ими.

11.2 Методы улучшения совместимости при помощи АТЕ Осадок флюса считается допустимым к проведению испытания, если он не влияет на способность испытательных образцов образовывать электрический контакт с выбранным выводом или контактной площадкой и первоначально, и по прошествии повторяющихся проверок (более 560 раз) одного и того же участка на разных платах.

Подходы к композиции флюса, используемые для достижения этой идеальной цели, многообразны и у каждого есть свои преимущества и недостатки.

Паста без осадка Даже при условии инертной среды внутри камеры для оплавления и/или газовой среде в настоящее время не существует технологии для создания пасты без осадка, хотя попытки их разработки все таки предпринимались, либо с использованием материалов, которые испаряются при температурах пайки, либо полимеров, которые расщеплялись, и в процессе пайки образовывались летучие фрагменты.

Крайне малое содержание осадка (ULR) Большинство таких паст (осадок от которых составляет менее 4,0% от веса пасты) обладают очень трудно определимым осадком, которые могут вызвать проблемы при проведении испытаний с использованием АТЕ, в особенности при проверке сквозных отверстий. Кроме того, могут возникать и другие трудности, например, сокращение срока службы формы или продолжительности клейкости.

Осадок вне соединения или неочищенные клейкие флюсы К этим составам добавляется поверхностный активный материал, вытесняющий осадок. Данный типы осадков могут быть применимы только, если проверка проходит на выводах компонента, но данный подход не приемлем для заполненных, в частности глубоко впалых отверстий.

Хрупкий осадок Осадок флюса, который легко крошится, может быть действенным в течении короткого времени, при точечных проверках, но в этом случае, есть вероятность накопления флюса, особенно на образцах с выступающими частями, на которых фрагменты осадка могут задерживаться. Чаще всего такие пасты после проведения испытания считаются неприемлемыми.

Пасты с мягким осадком Большинство паст, используемых для проведения испытаний, относятся к данному типу и обладают малым молекулярным весом, олигомерами с небольшой кристаллической структурой (короткие полимеры). К ним также добавлены размягчающие материалы для увеличения проникающей способности. Флюсы некоторых паяльных паст основаны на использовании полимеров. Синтетические полимеры с полярными концевыми группами – потенциальные представители этой группы. Одним из основных недостатков этой категории более полярных материалов является то, что они могут иметь водородную связь с водой (в условиях влажности), в результате чего, образуется осадок, что может привести к появлению прочих загрязнений.

11.3 Основные характеристики Исследование следующих областей является важным при определении совместимости пасты с проводимым процессом:

- ***Пропускающая способность*** Осадок флюса должен позволять измерительному наконечнику осуществлять электрическое соединение с выводом или контактной площадкой
- ***Повторяемость / возможные скопления*** Осадок флюса не должен оказывать влияния на последующие испытания при помощи одного и того же наконечника, ил на повторяющееся испытание одной и той же платы.

11.4 Основные контролируемые переменные Самое важное – это то, что испытания платы должны проходить в тех же условиях, что и само изделие или при наиболее неблагоприятных условиях, если паста будет использоваться в разных случаях. Определение наиболее неблагоприятных условий зависит от типа пасты.

Рисунок 11-1 Обзор плана проведения испытаний на ATE Рисунок смотри в оригинале.

Таблица 11-1 Вопросы по схеме последовательности работ при проведении испытаний / Руководство

1. Проводите ли вы тестирование платы при помощи подпружиненных контактов?	[ ] Да	[ ] Нет
2. Тип проводимого испытания?	[ ] в вакууме?	[ ] в зажимном устройстве (раковина моллюска)
3. Проверка проводится на специальных контрольных точках?	[ ] Да	[ ] Нет
4. Проводится ли проверка точек, на которых есть осадок пасты (только штыри или штыри в пасте)?	[ ] Да	[ ] Нет
5. Самый короткий промежуток времени между оплавлением и проведением испытания?	[ ] < 3 часов [ ] < 8 часов	[ ] < 24 часов [ ] больше
6. Самый длинный промежуток времени между оплавлением и проведением испытания?	[ ] < 3 часов [ ] < 8 часов	[ ] < 24 часов [ ] < 72 часов [ ] больше
7. Каков вид отказа?	[ ] отсутствие контакта по причине жесткости осадка	[ ] скопление осадка на наконечнике [ ] оба
8. Проводятся ли дополнительные операции между оплавлением и испытаниями?	[ ] пайка вручную [ ] пайка волной припоя	[ ] двусторонняя пайка [ ] прочие виды термообработки
9. Типы используемых наконечников?	[ ] точечный [ ] долотообразный	[ ] крончатый [ ] скрученный

11.5 Время возникновения осадка Инженерам необходимо определить минимальное, среднее и максимальное допустимое время между оплавлением и проведением проверки контактов. Многие пасты с мягким осадком разработаны таким образом, что со временем они твердеют, уменьшается их клейкость, и таким образом снижается вероятность притягивания загрязнений. Если смесь застывает за 3 дня, то между этапами оплавления и испытаниями должно пройти семь дней. Измерительный наконечник должен быть проверен вначале и в процессе работы на наличие поверхностных изменений, если они есть.

В конечном счете, необходимо обратить внимание на то, что некоторые осадки, например от паст на основе полимеров, также могут быть чувствительными к влажностным условиям среды, в которой хранятся платы, причем в более влажной среде осадок размягчается.

11.6 Температура Влияние температуры не должно игнорироваться. Теплый осадок обычно мягче. После проведения оплавления платы необходимо время для доведения ее до комнатной температуры и только после этого можно проводить испытание.

11.7 Условия проведения оплавления Когда плата подвергается оплавлению в двух сторон и / или пайке волной припоя, то свойства осадка отличаются от тех свойств, которые бы были у осадка, если бы плата подвергалась только одному циклу нагрева. Если паяльная паста специально разработана таким образом, что осадок мягкий, то самая высокая температура может сделать осадок тверже. Другие условия оплавления, такие как разница между вынужденной конвекцией и стандартным инфракрасным оплавлением могут также оказывать воздействие на реологические свойства осадка. Увеличенная скорость потока воздуха и темпы его изменения, наблюдаемые при вынужденной конвекции, могут привести к возникновению более твердых осадков, с меньшей пропускной способностью. Было обнаружено, что использование инертных атмосфер при оплавлении дают более мягкий осадок с большей пропускной способностью.

11.8 Контрольные точки Если большинство контрольных точек представляют собой заполненные отверстия, то большое внимание должно уделяться вопросам пропускной способности. При разработке испытания инженеру необходимо обратить внимание также и на следующее:

- конструкцию измерительного наконечника и оборудование АТЕ
- скопление осадка
- сухость осадка

11.8.1 Модели измерительных наконечников и оборудования АТЕ На большинстве плат размещены различные контрольные точки, которые требуют использования различных типов наконечников. Инженер должен быть уверен, что выбранные образцы типов наконечников используются и на оценочном этапе, что гарантирует совместимость. Выбор оборудования АТЕ с возможностью фиксирования образцов или проведения испытаний в вакууме также оказывает влияние на максимальное оказываемое воздействие для проникновения к тяжелым осадкам на узле.

11.8.2 Скопление осадка Если оборудование АТЕ подключено и проверки проводятся на 100% плат, то необходимо провести испытание на скопление осадка. Допустимым стандартом будет считаться 90% удачных попыток из серии в 560 попыток или согласованный коэффициент успеха, оговоренный между покупателем и поставщиком.

11.8.3 Сухость осадка Испытание ассоциации IPC на проверку способности осадка флюса удерживать материал в виде частиц проводится по методу 2.4.47 IPC-TM-650: Сухость осадка флюса. Условия конечного пользования изделия требуют проведения данного испытания. Если эксплуатация узла проходит на воздухе или в условиях с повышенным содержанием пыли, то осадок может притягивать и удерживать загрязнения и частицы пыли, что может стать причиной беспокойства, с точки зрения поверхностного сопротивления изоляции и / или электромиграции.

12 СРОК ГОДНОСТИ ПРИ ХРАНЕНИИ

В данном разделе приведен ряд испытаний, проводимых для определения срока годности материала паяльной пасты при хранении: смотри Таблицу 12-1.

12.1 Методы проверки Данное испытание имеет большое значение только для производителей паяльной пасты и позволяет установить срок годности материала при хранении.

- ***Образец*** Подготовьте проверяемый материал в достаточном количестве для неоднократного проведения вышеуказанного испытания; требуется 10-12 банок по 500 – 700 грамм в каждой, одна банка на одно запланированное испытание, после проведения проверки материал выбрасывается. Материал должен храниться при условиях (например, 0 - 7°C [32 - 45°F] при охлаждении или 25°C ± 1°C [77,0°F ± 1,8°F] в условиях окружающей среды), предназначенных для поддержания стабильности при хранении материала.
- ***Подготовка*** Перед проведением испытания образец паяльной пасты должен быть выдержан при температуре в 25°C ± 1°C [77,0°F ± 1,8°F]. При этой температуре при помощи лопаточки размешивайте пасту вручную в течении 30 секунд (около 30 оборотов) до получения однородной консистенции. Повторно доведите температуру образца до 25°C ± 1°C [77,0°F ± 1,8°F].
- ***Испытание*** Испытание материала проводите сразу после подготовки. Рекомендуется проводить испытания в той последовательности, которая приведена в Разделе 2. Испытания трафаретной печати должно всегда проводиться последним, когда большая часть материала уже использована.
- ***Частота проведения испытания*** Испытание проводится в течении 24 – 48 часов после подготовки материала и с интервалами (два раза в неделю, раз в месяц) и далее с использованием свежего материала из одной и той же партии. предлагаемые интервалы проведения испытания: первоначально, на 1ой, 2ой, 4ой, 6ой и 8 ой неделях, на 3ем, 4ом, 5ом 6ым, 9ым и 12ом месяцах и прочих временных интервалах вплоть до истечения срока годности.

12.2 Оценка Все полученные результаты испытания на каждом интервале должны соответствовать требованиям, указанным выше. Если какой-либо результат из любого интервала времени выходит за границы показаний, определенных согласно техническим требованиям, то срок

годности материала определяется как общее время с момента изготовления до времени, которое было определено на предыдущем испытании (с удовлетворительными результатами) в условиях хранения данного материала.

Таблица 12-1 Рекомендации по проведению испытания по определению срока годности при хранении

Тип проверки	Требование
Внешний вид	Паста должна быть однородной, без комочков, не покрытой коркой и без отделения флюса.
Образование шариков	Способность материала образовывать шарики определяется по Методу 2.4.43 стандарта IPC-TM-650.
Оплавление на медной подложке	Способность материала оплавляться на медной подложке определяется по Методу 2.4.45 стандарта IPC-TM-650.
Размер частиц	Для определения однородности материала используется измерительный прибор размера частиц (FOG) (согласно IPC-TM-2.2.14.3 или ASTM D 1210). Размер частицы, используемой для сравнения, должен быть меньше самой большой частицы используемого порошка.
Клейкость	Клейкость материала определяется по Методу 2.4.44 стандарта IPC-TM-650.
Текучесть	Текучесть материала определяется по Методу 2.4.35 стандарта IPC-TM-650.
Вязкость (выбрать один)	
i) по Брукфильду:	Вязкость материала определяется по Методу 2.4.34 и Методу 2.4.34.1 стандарта IPC-TM-650.
ii) по Малкольму:	Вязкость материала определяется по Методу 2.4.34.2 и Методу 2.4.34.3 стандарта IPC-TM-650.
Проверка трафаретной печати	Данный вид проверки пока не разработан.
Прочее	по необходимости

12.3 Контролируемые переменные Ряд факторов может повлиять на разницу в сроках годности паяльной пасты при хранении:

- ***Температура*** При низких температурах скорость протекания химических реакций замедляется, а также замедляется процесс распада пасты с флюсом. Однако, если температура слишком низкая, то некоторые компоненты флюса начинают кристаллизоваться; процесс является необратимым.
- ***Влажность*** Наличие или отсутствие микроскопического количества влажности может полностью изменить действие паяльной пасты. Обычно, пасты смываемые водой хранятся в слегка влажных условиях, в то время как неочищенные пасты лучше всего хранить в самых сухих условиях. Даже запечатанные банки или картриджи с пастой должны быть оснащены негерметичными крышками, либо пластиковыми, которые не являются эффективным средством защиты от влажности на долгое время.
- ***Вибрация*** Так как паяльная паста обычно весьма тиксотропична, излишняя вибрация или встряски при транспортировании или хранении уменьшают вязкость флюса. Это может привести к уменьшению срока годности пасты из-за увеличения разделения и более быстрого сращения.
- ***Условия при изготовлении*** В зависимости от того, насколько хорошо паста защищена от воздействий окружающей среды при смешивании и хранении, условия окружающей среды (в частности, температура, влажность и уровень пыли) могут быть важными факторами при определении срока годности пасты при хранении.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Общая пайка комплекта компонентов 02\01 оплавлением припоя

работа представлена на совете IPC SMEMA APEX® 2000

Джеймс Х. Адрианс
Ассоциация универсальных приборов
Бингхэмптон, Нью-Йорк

Джеффри Д. Шейк
Установки трафаретной печати DEK
Уэймауф, Англия

Аннотация

Краткий обзор исследования, проведенного в данной работе, поможет ответить на некоторые общие вопросы, связанные с пайкой комплекта компонентов 02\01 оплавлением припоя. В процессе исследования были изучены следующие основные переменные величины: схемы размещения контактных площадок, модели форм, интервалы между компонентами, расположение компонента, тип флюса, газообразная среда оплавления паяльной пасты. Две основные характеристики, полученные в результате эксперимента – годность комплектов и их качество. Такие дефекты как надгробная плита (соединение, не покрытое припоем), пузырьки припоя и смещение компонента были использованы при определении годности комплектов. Такие характеристики как форма паянного соединения, внешний вид припоя, а также размер соединения (недопустимо малый, допустимый или недопустимо большой) использовались при определении качества проводимых процессов. Было выявлено, что вместе такие факторы как тип флюса и среда оплавления оказывают наибольшее влияние на возникновение ряда дефектов. Платы, изготавливаемые с использованием паяльных паст с некоторым содержанием примесей, оплавление которых происходит в воздушной среде, оказались наиболее пригодными и обладающими более жесткими требованиями к изменению размеров контактных площадок. С другой стороны, вариант использования паяльных паст с содержанием примесей и их оплавления в азотсодержащей среде приводит к возникновению большого числа дефектов при сборке и считается самым чувствительным к изменениям схем размещения контактных площадок.

Введение

Необходимость в уменьшении размера и веса электронных изделий рассматривается в работе на примере отработанной технологии поверхностного монтажа. Уменьшение размера как активных, так и пассивных компонентов, совмещенное с использованием улучшенной технологии изготовления плат с печатными схемами позволяет производить более легковесную и качественную конечную продукцию. Всесторонние исследования и разработки направлены на дальнейшее сокращение размеров активных компонентов. Пассивные компоненты также сокращаются в размере, вынуждая разработчиков использовать все меньшую площадь печатных плат для выполнения поставленных задач. На протяжении нескольких лет общепринятым считалось использование компонентов 06\03 и 04\02. Компоненты с данными размерами используются в крупномасштабном производстве с высокой выработкой продукции. Сравнительно недавно в некоторых случаях стали применяться компоненты 02\01. Размер компонента 02\01 составляет приблизительно одну четвертую часть от размера компонента 04\02. Меньший размер компонентов 02\01 может потенциально снизить трудоемкость и производительность процесса сборки. В данной работе представлены результаты проводящихся в настоящее время исследований, посвященных определению влияния, которые оказывают особые параметры схем плат и печатных узлов на пайку компонентов 02\01 оплавлением припоя.

Полностью факторные экспериментальные модели 27 различных вариантов размещения контактных площадок (по 3 уровня каждый для расстояния между площадками, длины и ширины площадки) использовались для определения оптимальной схемы размещения контактной площадки. Каждая модель контактной площадки была испытана на пяти различных вариантах размещения отверстий на форме. Химические составы водорастворимых флюсов и флюсов с содержанием примесей были испытаны при оплавлении как в условиях воздушной среды, так и в азотсодержащей атмосфере. Расстояние между компонентами было проверено на четырех разных уровнях при размещении компонента под углом в ноль и девяносто градусов. Такие главные параметры как толщина формы, способ ее изготовления, металл изготовления контактной площадки, тип припойного трафарета, настройки процесса трафаретной печати, цикл нагрева, системы оплавления и размещения компонентов являлись постоянными на протяжении всего исследовательского проекта.

Материалы и сборочное оборудование, используемое в эксперименте

Для проведения эксперимента была разработана тестовая плата, содержащая как компоненты 02\01, так и компоненты 04\02. На рисунке 1 изображен снимок тестовой платы с компонентами 02\01. Плата с печатными схемами представляет собой одностороннюю панель 7,5″ в ширину и 12,5″ в длину. Толщина платы стандартная, составляет 0,062″. Контактные площадки изготовлены из меди, покрытой материалом Entek Plus (OSP). Для всех дорожек и контактных площадок используется пол-унции меди. Используемый припойный трафарет – Taiyo PRS4000. Три варианта контактных площадок с различной длиной, шириной и расстоянием между ними были проверена на примере компонентов 02\01 и 04\02, в результате чего были получены 27 различных вариантов контактных площадок для компонентов 02\01 и 04\02. Каждая вариант площадки повторяется 120 раз в одном и том же ряду. Каждый ряд обозначен трехбуквенным кодом в соответствии с

размерами контактной площадки, приведенными в Таблице 1. Примером варианта контактной площадки компонента 02\01 может быть ADG (ширина площадки A = 0,012″, длина площадки D = 0,008″ и расстояние между площадками G = 0,009″). Проверка проводилась на четырех различных вариантах расстояний между компонентами 0,008″, 0,012″, 0,016″ и 0,020″. Тридцать компонентов были объединены вместе для проведения проверки расстояния между компонентами. Все линии контактных площадок проложены через концы контактных площадок таким образом, что испытания расстояний между компонентами проводятся от одной стороны компонента к другой (не от конца компонента к другому концу компонента).

Рисунок 1 Снимок тестовой платы с компонентами 02\01

Рисунок смотри в оригинале.

Таблица 1 Размеры контактных площадок компонентов 02\01

Контактные площадки 02\01			
Ширина площадки = W	A = 0,012″	B = 0,015″	C = 0,018″
Длина площадки = L	D = 0,008″	E = 0,012″	F = 0,016″
Расстояние между площадками = S	G = 0,009″	H = 0,012″	I = 0,015″

Тестовая плата предназначена для проверки компонентов расположенных как под углом в ноль , так и девяносто градусов, для всех моделей. Полностью укомплектованная плата содержит 12,960 компонентов. В Таблице 1 перечислены размеры контактных площадок компонентов 02\01 всех трех уровней. На Рисунке 2 приведено изображение контактной площадки компонента 02\01.

Рисунок 2 Определение размеров контактной площадки

Рисунок смотри в оригинале.

Все операции по трафаретной печати при проведении эксперимента использовалась форма толщиной 0,005″, из нержавеющей стали, выполненная лазерной резкой. Форма не подвергалась микротравлению или нанесению металлического покрытия. Толщина в 0,005″ была выбрана как компромисс между формами, толщиной 0,004″ и 0,006″. Более тонкая форма толщиной 0,004″ обеспечит более полное выделение паяльной и пасты и заполнение отверстий компонентов 02\01, но существенно снизит объем паяльной пасты, доступной для других компонентов поверхностного монтажа, которые обычно содержатся на большинстве плат. Форма, толщиной 0,006″, не рассматривалась, из-за недостаточного для компонентов 02.01 выделения паяльной пасты. Металлический трафарет был размещен по центру формы размером 29″ на 29″. В рамках проекта были изготовлены 2 формы. Первая для первого эксперимента (проверка пропускной способности). Для каждого варианта контактной площадки были испытаны пять различных типов отверстий. Форма 2 была разработана на основе полученных результатов испытаний формы 1. В форме 2 каждому варианту контактной площадки соответствовал свой тип и размер отверстий. В Таблице 2 содержится данные по размерам и размещению отверстий на форме 2. На Рисунке 3 показаны три различных типа размещения отверстий относительно центра компонента.

Таблица 2 Размеры отверстий для компонентов 02\01 и их размещение на форме 2

Вариант контактной площадки	**Размер отверстий формы**	**Расположение отверстий**
ADG	0,015″ x 0,009″	сдвиг наружу на 0,001″
ADH	0,015″ x 0,009″	по центру
AEG	0,015″ x 0,011″	сдвиг наружу на 0,003″
AEH	0,015″ x 0,013″	сдвиг наружу на 0,0005″
AFG	0,012″ x 0,015″	сдвиг наружу на 0,0005″
AFH	0,014″ x 0,016″	по центру
BDG	0,018″ x 0,009″	сдвиг наружу на 0,0015″
BDH	0,018″ x 0,009″	сдвиг наружу на 0,0005″
BEG	0,015″ x 0,011″	сдвиг наружу на 0,0005″
BEH	0,015″ x 0,011″	сдвиг внутрь на 0,0005″
BFG	0,015″ x 0,015″	сдвиг наружу на 0,0005″
BFH	0,017″ x 0,016″	по центру
CDG	0,021″ x 0,009″	сдвиг наружу на 0,0015″
CDH	0,021″ x 0,009″	сдвиг наружу на 0,0005″
CEG	0,018″ x 0,011″	сдвиг наружу на 0,0005″
CEH	0,018″ x 0,011″	сдвиг внутрь на 0,0005″
CFG	0,018″ x 0,015″	сдвиг наружу на 0,0005″
CFH	0,020″ x 0,016″	по центру

Рисунок 3 Размещение отверстий формы относительно контактной площадки

Рисунок смотри в оригинале.

При проведении эксперимента использовались составы паяльных паст, как водорастворимых, так и с содержанием примесей. Оба типа паяльных паст на 90% состояли из твердых веществ с размером частиц типа IV. Для демонстрации двух наиболее известных типов химических составов флюсов были взяты одна паяльная паста с некоторым содержанием примесей и одна водорастворимая паста. Пасты были закуплены у двух разных поставщиков. Вязкость у обеих паст составляла примерно 900 KCPS.

Для выполнения трафаретной печати использовалась установка трафаретной печати DEK 265 GSX. Были использованы следующие параметры трафаретной печати:

- Скорость печати = 1,0 дюйм/сек
- Тип валика = металлические лопасти (автоматический переход)
- Угол примыкания валика – 60 градусов
- Давление валика – 2,3 фунта/дюйм валика
- Рабочий зазор установки = 0 (соприкосновение)
- Скорость отделения = 0,02 дюйма/сек.

Размещение всех компонентов при проведении этого эксперимента было выполнено на оборудовании Universal 4796R HSP. Оборудование было настроено на вариант использования компонентов 02\01 с применением освещения компонентов и подающего механизма для перемещения компонентов 02\01. Все компоненты подавались лентой, намотанной на катушку. Для выравнивания платы использовались две опорные точки.

Все операции по оплавлению паяльной пасты были выполнены в печи вынужденной конвекции Heller 1800W. Система оплавления включает 8 зон нагрева и 1 зону охлаждения. Уровень содержания кислорода составляет менее 50 промилле. На Рисунке 4 содержится диаграмма оплавления всех плат собранных на протяжении эксперимента. Осмотр на наличие дефектов был визуальным и использованием полуавтоматической оптической системы. Все обнаруженные дефекты были записаны вручную и визуально подтверждены.

Рисунок 4 Диаграмма оплавления

Рисунок смотри в оригинале.

Результаты

Проект состоял из проведения двух экспериментов. Первый эксперимент, проверка пропускной способности, основан на протекании четырех различных процессов. Четыре процесса представляют собой оплавление водорастворимой пасты и пасты с содержанием примесей в воздушной среде и азотсодержащей. При проведении каждого из процессов было собрано по шесть полностью укомплектованных плат с общим числом компонентов до 311,040. Каждый вариант контактной площадки испытывался на пяти различных формах с различными отверстиями / размещением отверстий.

Второй и последний эксперимент основан на проведении только трех процессов из четырех. Был исключен вариант оплавления водорастворимой паяльной пасты в азотосодержащей среде. Обычно объединение химического состава водорастворимого флюса с азотсодержащей средой не используется. При проверки присоединения контактной площадки был выбран только один вариант размещения отверстий на форме. В Таблице 2 содержится схема размещения отверстий на форме. Вариант размещения отверстий для проведения эксперимента 1 был выбран на основе годности и качества печатного узла. Контактные площадки с наибольшим расстоянием между ними (I = 0,015″) были исключены из участия в эксперименте. Благодаря этому общее число различных контактных площадок было уменьшено с 27 до 18. Результаты эксперимента 1 показали, что контактные площадки с самым широким расстоянием (I = 0,015″) приводят к образованию паянных соединений с большими зазорами, чем площадки с меньшим расстоянием между ними. По каждому из трех процессов были собраны платы, общим числом пятьдесят, с содержанием 1 116 000 компонентов.

На Рисунке 5 показан выход годных изделий при проведении трех различных процессов сборки. Паяльная паста с содержанием примесей, оплавление которой проводилось в воздушной среде, вызвала образование наименьшего количества дефектов, общим числом 66. Водорастворимая паяльная паста, оплавляемая в воздушной среде, показала следующий низкий уровень образования дефектов (1 499). Оплавление паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде сопровождалось образованием наибольшего числа дефектов (5 665). Рисунок 5 отражает рост числа дефектов при использовании среды с содержанием азота и возрастании активности флюса в паяльной пасте (водорастворимых паяльных паст).

Рисунок 5 Выход годных компонентов 02\01 в зависимости от типа проводимого процесса

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 6 показано распределение видов отказов по каждому из трех различных процессов сборки. Двумя основными дефектами были дефект надгробной плиты (паянное соединение с большим зазором) и образование перемычек. На Рисунке 6 отражено, что при оплавлении водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде процентное выражение образования перемычек составляло самое меньшее число (7%), затем следуют паяльные пасты с содержанием примесей оплавляемые в азотсодержащей среде (15%). Оплавление паяльной пасты с содержанием примесей в воздушной среде сопровождалось образованием самого большого числа перемычек (21%).

Рисунок 6 Распределение видов отказов по трем проводимым процессам

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 7 показано зависимость частоты образования перемычек от расстояния между компонентами по трем различным проводимым процессам. На Рисунке 7 отражено, что образование перемычек не было зафиксировано по трем процессам при расстоянии 0,012″ или более. Паяльная паста с содержанием примесей, оплавляемая в воздушной среде, привела к образованию меньшего числа перемычек (14). Оплавление водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде сопровождалось образованием большего количества перемычек (99). Самое большое число перемычек (866) было получено при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде. На двенадцати контактных площадках из 18 не образовались перемычки при наименьшем расстоянии в 0,008″ при оплавлении паяльной пасты в воздушной среде. На десяти площадках из 18 не образовалось перемычек при наименьшем расстоянии в 0,008″ при оплавлении водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде. На шести площадках из 18 не образовалось перемычек при наименьшем расстоянии в 0,008″ при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде.

Рисунок 7 Частота образования дефектов в зависимости от расстояния между компонентами в выбранного типа оплавления.

Рисунок смотри в оригинале.

Использование варианта контактной площадки AEG (L = 0,012″, W = 0,012″, S = 0,009″) с наибольшим расстоянием между местами наложения пасты (0,016″) привело к образованию наименьшего числа наплывов припоя. Образование наплывов уменьшается при увеличении расстояния между областями наложения пасты. Также при увеличении расстояния между областями наложения пасты уменьшается коэффициент смещения паяльной пасты при размещении компонента.

Анализ парных выборок использовался для определения значимости влияния пространственного расположения компонента (0 градусов или 90 градусов) на выход годных изделий. Пространственное расположение компонента под углом в ноль градусов означает, что оба вывода компонента будут оплавляться одновременно (параллельное расположение относительно источника нагрева). Пространственное расположение компонента под углом в девяноста градусов означает, что выводы компонентов будут оплавляться по очереди. проверялись следующие гипотезы:

Основная гипотеза: $Z = 0$: нет статистически значимой разницы в количестве дефектов между 0 и 90 градусами.

Альтернативная гипотеза: $Z \neq 0$: есть статистически значимая разница в количестве дефектов между 0 и 90 градусов.

Использовалась проверка t: $^{t}t = (\sqrt{n} \times u)/s$.

Величина p при оплавлении паяльных паст с содержанием примесей в воздушной среде составила 0,5765. Большая заданная величина p не позволяет отклонить основную гипотезу. Поэтому, оплавление паяльной пасты с содержанием примесей не отражает значимой разницы при выработке годных изделий при рассмотрении вопроса пространственной ориентации компонента. Низкая активность флюса при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в воздушной среде не увеличивает риск образования больших зазоров в паянных соединениях. Величина p для оплавления водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде составляла 0,001959. Заданная низкая величина p позволяет отклонить основную гипотезу. Увеличившаяся активность флюса при оплавлении водорастворимой паяльной пасты, по сравнению с паяльной пастой с содержанием примесей, вызвала значительное увеличение образования дефектов (больших зазоров между соединениями) компонентов, расположенных под углом в девяноста градусов. Величина p для оплавления паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде составила 0,000002. Заданная чрезвычайно низкая величина p позволила снова отклонить основную гипотезу. Использование азота увеличило число дефектов при девяностоградусной ориентации. Большое число дефектных соединений приходилось на выводы, оплавление которых проходило во вторую очередь (замыкающий вывод). Использование азота увеличивало поверхностное натяжение расплавленного припоя и, таким образом, вызывало образование паянных соединений с большими зазорами в чрезвычайно большом количестве при расположении компонента под углом в девяносто градусов, по сравнению с нулевой ориентацией.

На Рисунке 8 показаны дефекты сборки в соответствии с вариантом контактной площадки при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в воздушной среде. На семи вариантах контактных площадок (BDH, BEG, BFG, BFH, CDH, CEH и CFH) из 18 не обнаружено каких-либо дефектов. Основываясь на степени сложности трафаретной печати, формы паянного соединения и размере контактной площадке, в качестве предпочтительных были выбраны варианты BEG и CEH.

Вариант контактной площадки самого маленького размера требует использования формы с меньшими отверстиями, которые имеют склонность к более быстрому забиванию, чем формы с большим размером отверстий. Использование формы, толщиной 0,004", сократит забивание отверстий 02\01, но прочие устройства поверхностного монтажа, для установки которых требуется большее количества припоя, в результате приведут к незначительному или недостаточному увеличению объема пасты. На вариантах контактных площадок самого маленького размера не образуется желаемого паянного соединения вогнутой формы. Контактные площадки большего размера являются подходящим вариантом для достаточного выделения паянной пасты сквозь отверстия формы, при этом образуются допустимые формы паянных соединений, но для контактной площадки большего размера требуется большего свободного пространства печатной платы.

Рисунок 8 Дефекты сборки в зависимости от выбранного варианта контактной площадки при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в воздушной среде.

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 9 показаны дефекты сборки в зависимости от вариантов контактных площадок при оплавлении водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде. Дефекты были обнаружены во всех комбинациях контактных площадок при оплавлении водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде, принимая во внимание оба варианта пространственного расположения компонента. Меньше всего дефектов выявлено на контактной площадке типа CEG. На контактной площадке типа CDH не обнаружено дефектов при нулевом положении компонента, зато выявлено достаточно большое число дефектов при положении под углом в девяносто градусов. Оплавление пасты на контактной площадке типа CEG сопровождалось формированием паянных соединений хорошей формы и не требовало такого большого свободного пространства печатной платы, как при пайке контактных площадок большего размера. Что касается этого типа площадки, забивание отверстий формы паяльной пастой не вызвало проблем.

На Рисунке 10показаны дефекты сборки в зависимости от вариантов контактных площадок при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Дефекты были обнаружены во всех комбинациях контактных площадок, принимая во внимание оба варианта пространственного расположения компонента.

Рисунок 9 Дефекты сборки в зависимости от выбранного варианта контактной площадки при оплавлении водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде.

Рисунок смотри в оригинале.

На контактной площадке типа CEG обнаружено меньше всего дефектов. Оплавление пасты на контактных площадках типа CEG сопровождалось образованием паянного соединения хорошей формы и не требует такого большого свободного пространства печатной платы, как при пайке контактных площадок большего размера. Что касается этого типа контактной площадки, забивание отверстий формы паяльной пастой не вызвало проблем.

Рисунок 10 Дефекты сборки в зависимости от выбранного варианта контактной площадки при оплавлении паяльной пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде.

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 11 показано количество дефектов паянных соединений, прослеживаемых в зависимости от выбранной ширины контактной площадки и типа процесса. Эти данные были получены на основе оптимальных типов контактных площадок по каждому варианту проводимого процесса с сохранением постоянными соответствующих параметров длины контактной площадки и расстояния между ними и изменением ширины контактной площадки на всех уровнях проведения эксперимента. В целом, по всем трем процессам можно сказать, что тенденция заключается в улучшении производительности с увеличением ширины контактной площадки. Аналогично, можно отметить, что во всех трех типах процессов наиболее критичными к образованию дефектов уровнями являются контактные площадки с шириной от 0,012" до 0,015". Как для оплавления водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде, так и для оплавления пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде, образование минимального числа дефектов достигается на самом высоком уровне с шириной контактной площадки в 0,018". Эта тенденция немного отличается от оплавления пасты с содержанием примесей в воздушной среде, при котором наилучшие результаты достигаются на среднем уровне с шириной контактной площадки в 0,015". Однако, из-за ограниченного числа дефектов, обнаруженных на плате, собранной с использованием этого процесса, разница в уровнях дефектов

между контактными площадками шириной 0,015″ и 0,018″ была признана статистически незначительной. при определении тенденций в зависимости от выбранного типа процесса, результат, полученный при рассмотрении типа оплавления пасты с содержанием примесей в воздушной среде, считается наименее чувствительным к параметру ширины контактной площадки, а оплавление пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде наиболее чувствительным к изменению ширины контактной площадки.

Рисунок 11 Дефекты сборки в зависимости от ширины контактной площадки и выбранного типа процесса.

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 12 показано количество дефектов паянных соединений, возникающих в зависимости от длины контактной площадки и выбранного типа процесса. Также как и предыдущий график, эти результаты были получены на основе оптимальных типов контактных площадок в зависимости от каждого типа процесса с сохранением постоянными соответствующей ширины контактных площадок и расстояния между ними и изменением длины контактной площадки на всех экспериментальных уровнях. Отраженные в графике результаты позволяют говорить о тем, что оптимальная длина контактной площадки представляет собой промежуточную длину около 0,012″ для всех трех типов процессов. В целом оказалось, что самое сильное воздействие на производительность возникает между низкой и средней длиной контактной площадки от 0,008″ до 0,012″. Оплавление пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде несомненно самый чувствительный к образованию дефектов процесс с более обстоятельной зависимостью от длины контактной площадки, чем от каких-либо других параметров. Не обнаружено каких-либо дефектов на платах, собранных при использовании процесса оплавления пасты с содержанием примесей в воздушной среде как при средней, так и самой большой длине контактных площадок от 0,012″ до 0,016″.

Рисунок 12 Дефекты сборки в зависимости от длины контактной площадки и выбранного типа процесса.

Рисунок смотри в оригинале.

На Рисунке 13 отражено соотношение между дефектами паянных соединений, расстоянием между контактными площадками и типом выбранного процесса. Эти данные были также получены на основе оптимального варианта контактной площадки по каждому из процессов сборки с сохранением постоянными соответствующих параметров ширины и длины контактной площадки и изменением расстояния между контактными площадками на всех уровнях проведения эксперимента. Все три типа процессов сборки сопровождались образованием похожих дефектов паянных соединений на уровне самого большого расстояния между контактными площадками в 0,012″. Объединение процесса оплавления пасты с содержанием примесей с применением азотсодержащей среды является наиболее восприимчивым к влиянию на производительность процессом сборки, в зависимости от изменения расстояния между контактными площадками. Оплавление пасты с содержанием примесей в воздушной среде – наиболее устойчивый к изменению расстояния между контактными площадками процесс, с точки зрения образования дефектов.

Заключение

Из трех процессов сборки, которые были проверены на испытании, оплавление паяльной пасты с содержанием примесей в воздушной среде сопровождалось возникновением меньшего числа дефектов, как дефекта надгробной плиты (паянные соединения с большими зазорами), так и дефекта образования перемычек припоя. Испытания процесса оплавления пасты с содержанием примесей в воздушной среде также показали отсутствие дефектов на большинстве вариантах контактных площадок. Кроме того, было выявлено, что этот тип процесса сборки является самым нечувствительным (из трех рассматриваемых в работе) к влиянию, способствующему образованию некоторого числа дефектов паянных соединений множества вариантов площадок. Следующим по числу дефектов сборки является процесс оплавления водорастворимой пасты в воздушной среде, следом за которым идет процесс оплавления пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Использование уровней с низким содержанием кислорода (ниже 50 промилле) и более активного химического состава флюса паяльной пасты снижают производительность и трудоемкость сборки.

Рисунок 13 Дефекты сборки в зависимости от расстояния между контактными площадками и выбранного типа процесса сборки.

Рисунок смотри в оригинале.

Более длинные профили оплавления могут сократить количество дефектов сборки при использовании процессов оплавления водорастворимых паяльных паст в воздушной среде и паст с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Высокое содержание кислорода при оплавлении в азотсодержащей среде, вероятнее всего, также сокращают количество дефектов сборки. Использование азота увеличивает силу смачиваемости и сокращает время затрачиваемое на это.

При использовании расстояния между сторонами компонентов в 0,008 при проведении испытаний всех трех процессов перемычек между соединениями не образовывалось. Применение азота при оплавлении и водорастворимой пасты увеличивает количество перемычек. Контактные площадки небольшого размера имеют больше склонности к образованию перемычек, чем площадки больших размеров. Комбинации с либо самой наименьшей шириной контактной площадки, либо самой наименьшей длиной увеличивает вероятность возникновения перемычек. Будущие исследования будут направлены на изучение расстояния в 0,008" между компонентами, для того чтобы определить наименьшее допустимое расстояние.

Образование наплывов припоя может быть уменьшено или исключено путем сокращения количества паяльной пасты, размещаемой под выводами компонентов. Необходимо отметить, что количество дефектов (паянных соединений с большим зазором) увеличивается с увеличением расстояния между местами наложения пасты. При проектировании формы, расстояние между отверстиями должно удерживаться от 0,010" до 0,012". Типы форм “home plate” и “V-notch” в испытаниях не участвовали, из-за слишком маленьких для компонентов 02\01 размеров контактных площадок.

Пространственное размещение компонентов определялось как незначительное для процесса оплавления паяльной пасты с примесями в воздушной среде. Расположение компонента было признано статистически значимым для процесса оплавления водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде, а также пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Увеличившаяся активность флюса водорастворимых паяльных паст, по сравнению с пастами с содержанием примесей и / или сократившееся содержание кислорода при оплавлении, увеличило силу смачиваемости расплавленного припоя. Размещение компонента под углом в девяносто градусов (один вывод достигает зоны оплавления раньше другого), вероятнее всего, способствуют образованию дефектов надгробной плиты при увеличении времени и более высокой степени смачиваемости.

На семи контактных площадках из 18, на которых проводились испытания процесса оплавления пасты с содержанием примесей в воздушной среде, дефектов сборки обнаружено не было. Тип контактных площадок BEG был выбран лучшим вариантом на основе размера площадки, качества паянного соединения и простоты трафаретной печати. В типе BEG также использовалось самое маленькое расстояние между контактными площадками. Причиной, по которой тип CEH стал вторым, явилось более широкое расстояние между площадками. Предпочтительные варианты для двух других процессов также содержали небольшое расстояние между контактными площадками в 0,009". Оплавление паяльной пасты с содержанием примесей стал наиболее трудоемким процессом по сравнению с двумя другими. Меньшее число типов площадок стало допустимым по двум другим процессам. Тип CEG показал наилучший результат для процессов оплавления водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде и пасты с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Единственное отличие типов площадок BEG и CEG – разница в ширине площадки в 0,003". Увеличение ширины контактной площадки и уменьшение расстояния между приводит к сокращению точности размещения компонента и увеличению трудоемкости процесса. Третьим по результативности идет вариант площадок BEG для процессов оплавления водорастворимых паст в воздушной среде и паст с содержанием примесей в азотсодержащей среде. Все типы контактных площадок были признаны не допустимыми для использования в процессе оплавления паяльной пасты с примесями в азотсодержащей среде. Также все типы контактных площадок были признаны недопустимыми для использования при процессе оплавления водорастворимой паяльной пасты в воздушной среде при одновременном рассмотрении двух типов пространственного размещения компонентов.

В дальнейшем планируется проводиться исследования по точности размещения компонентов при сборке и оптимизации параметров оплавления.

Ссылки

1. Д.С. Монтгомери, *Разработки и анализ экспериментов – Издание 4-е,* John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1997, стр.51

Благодарность

Авторы выражают благодарность Шравану Джумани, научному сотруднику, выпускнику Бингхэмптонского университета за помощь в подготовке результатов исследования, группе Dii за помощь в проектировании и изготовлении тестовых плат, IRI Alphametals за предоставление форм, Kester and Alphametals за предоставление паяльной пасты.

Приложение В

Спланированные эксперименты по контролю наплывов припоя и дефектов вертикального загиба на пассивных устройствах

Виджакумар Ганешан, Картик Теналур и С. Маниан Рамкумар
Центр производства и сборки электронного оборудования
Технический институт Рочестера
Рочестер, Нью-Йорк

1. Аннотация

Дефекты наплыва припоя и загибов часто наблюдаются на бескорпусных компонентах по мере сокращения их массы. При сегодняшней компоновке ситуация еще более критическая из-за преобладания пассивных компонентов над активными. Увеличение числа пассивных компонентов влияет на фактор «дефекты на миллион возможных», который в свою очередь оказывает воздействие на общую производительность сборонной линии. Поэтому важно знать различные факторы в процессе сборки, приводящие к возникновению этих дефектов. В этой статье представлены результаты исследования характера процесса сборки для выявления воздействия паяльной пасты, толщины трафарета, опоры платы, профиля оплавления и размера компонента на образование наплывов припоя и загибов компонентов. Для определения воздействия этих факторов на возникновение дефектов был проведен анализ. Результаты исследования были представлены в процентном отношении дефектов, отношении случаев возникновения дефектов к общему числу возможных.

Введение

В электронной промышленности происходят заметные изменения из-за постоянного спроса на небольшие и качественные изделия с низкой себестоимостью. Качество изделий становится ключевым фактором успеха любой организации. Оно напрямую связано с технической компетенцией инженера в области производственного процесса, проектных параметров и прочих величин, Практически любой электронный узел, изготавливаемый сегодня, имеет множество компонентов, среди которых пассивные компоненты занимают большинство от общего числа устройств. Поэтому сокращение дефектов, наблюдаемых на пассивных бескорпусных компонентах, обеспечит огромную экономию средств при сборке печатных плат. Некоторые общие причины возникновения дефектов на пассивных компонентах связаны с образованием наплывов/шариков припоя и загибов. Хотя имеется мало данных о причинах возникновения наплывов припоя и загибов, правильно спланированный эксперимент определенно принесет пользу при разработке необходимых стандартов для контроля процессов и улучшит общее качества и надежность изделий. Эксперимент, описанный в данной статье, был выполнен с учетом вышеуказанного критерия для точного определения параметров и их значений, которые сокращают наплывы припоя и загибы на компонентах 0805 и 0402. Аналогичное исследование,

затрагивающее компоненты 0201, также планируется осуществить из-за недавнего приобретения монтажной аппаратуры для компонентов 0201.

2. Постановка задачи

Целью данного проекта является сведение к минимуму наплывов припоя и загибов на печатных платах, имеющих пассивные бескорпусные компоненты. Методы экспериментального проектирования применяются для выявления критических факторов/переменных, влияющих на образование шариков припоя и загибов на платах с поверхностным монтажом.

3. Образование наплывов припоя и загибов

Наплывы припоя являются дефектами сборки, которые возникают, когда крошечные сферические шарики припоя прилипают к пассивному компоненту из-за остатков флюса, образующихся при оплавлении. Они обычно расположены на базовой поверхности компонента (Рисунок 1). Если наплывы припоя не удалить, они могут смещаться из первоначального местоположения (за счет ударного воздействия или вибрации) и вызвать нежелательные короткие замыкания между компонентами, что приведет к отказу изделий.

Рисунок 1. Наплывы припоя под бескорпусным резистором

Смотрите оригинал

Другим распространенным дефектом, который все чаще наблюдается на миниатюрных бескорпусных компонентах, являются загибы. Это дефект подгонки, который происходит, когда компонент перебрасывается с одного конца контактной площадки из-за неравномерного смачивания, возникающего при оплавлении припоя [1,2] (Рисунок 2). Этот дефект приводит к короткому замыканию и обычно устраняется при осмотре и повторной обработке.

Рисунок 2: Загибы на бескорпусном резисторе

Смотрите оригинал

Хотя наплывы и загибы можно обнаружить при осмотре и выполнить соответствующую коррекцию, затраты на эти дополнительные операции в случае крупносерийного производства могут быть высоки. Данное исследование нацелено на выявление причин появления наплывов/загибов и принятие решений по заданию определенных параметров управления в процессе поверхностного монтажа., которые сводили бы к минимуму возникновение этих дефектов.

4. Формулировка проектирования эксперимента

Среди различных проблем обработки пассивных компонентов, одними из самых заметных являются наплывы и загибы из-за их воздействия на эффективность сборочного процесса. В ходе обсуждения было решено определить общие переменные, которые могли бы вызывать вышеуказанные дефекты (Рисунок 3).

Переменные, которые следуют учесть в спланированном эксперименте, должны быть распределены на определенных уровнях при каждом экспериментальном прогоне, чтобы независимо определить воздействие каждого из факторов. Эта задача была выполнена при группировке соответствующих факторов в сбалансированной экспериментальной матрице с использованием принципов ортогональности. В Таблице 1 перечислены различные факторы, которые следует учесть при эксперименте. Был выполнен статистический анализ спланированного эксперимента, который описан в последующих разделах.

Таблица 1 Список факторов, учитываемых при планировании эксперимента.

Факторы		**Уровни**	
Название	**Тип**	**-1**	**1**
Толщина трафарета	Внешний	4 мил	6 мил
Тип пасты	Внешний	Паста-1(изг-ль А)	Паста-2(изг-ль В)
Профиль оплавления	Внешний	Расширение-пик	Расширение-выдержка-пик
Опора платы	Внешний	Да	Нет

5. Испытательный образец

Эксперимент проводился с использованием печатных монтажных плат (ПМП) (испытательных образцов) с покрытием HASL. Испытательный образец включает различные компоненты, например, QFP, BGA, CSP и бескорпусные компоненты 0805, 0603, 0402, 0201. Однако в целях исследования были смонтированы и проанализированы на предмет наплывов и загибов только компоненты 0805 и 0402. Каждый испытательный образец (Таблица 2) включает 240 компонентов 0805 и 0402, равномерно распределенных по четырем зонам: север, юг, восток и запад.

Рисунок 3 Диаграмма причинно-следственных связей возникновения дефектов наплыва и загиба

Смотрите оригинал

6. Эксперимент и сбор данных

В эксперимент включал следующие этапы.

Трафаретная печать паяльной пастой

На испытательные образцы была нанесена паяльная паста при помощи полностью автоматизированного трафаретного принтера с параметрами печати, указанными в Таблице 3.

Таблица 2 Характеристики испытательного образца

Характеристики испытательного образца	Значение
Материал платы	Стандартный материал FR4 – Стекловолоконный усиленный ламинат
Покрытие платы	HASL
Размеры платы	10,5'' x 8,5'' x 62 мил толщиной
Стандарт платы	Международный и местный

Таблица 3 Стандартные параметры печати

Параметр	Значение
Давление печати	12 кг
Скорость печати	30 мм/сек
Направление печати	Вперед
Скорость разделения	3 мм/сек
Отключение	0
Ракель	Металлический 12'', угол расширения 45 град.

Значения были постоянными в ходе всего эксперимента и, как известно, обеспечили относительно хорошее качество отпечатков при ранее проведенных экспериментых.

Контроль пасты

Качество печати на испытательных образцах было подвергнуто визуальному осмотру на предмет ухудшения качества, например, замыкания контактов, отсутствия перемычек и т.д.. Паста в трехмерном объеме была измерена лазерной системой контроля.

Расположение компонентов

Бескорпусные компоненты 0805 и 0402 были монтированы с применением удобного среднесерийного оборудования. Цикл распределения был оптимизирован под минимальную продолжительность, и для этого процесса использовалось множество насадок. Компоненты были размещены как с опорами платы, так и без них, в соответствии с процедурой планирования эксперимента.

Оплавление

После расположения компонентов испытательные образцы прошли через печь с вынужденной конвекцией, имеющую различные тепловые зоны для оплавления припоя. Как часть эксперимента, применялось два профиля оплавления (профиль «расширение-пик» и «расширение-выдержка-пик»), о которых более подробно рассказано в последующих разделах. Параметры обоих профилей были взяты из спецификации изготовителя пасты.

Сбор данных

Дефекты испытательных образцов были выявлены при помощи контрольного микроскопа с максимальной увеличительной способностью x40. Дефекты были обнаружены визуально и отмечены в журнале регистрации данных для всех собранных испытательных образцов.

6.1 Полный факторный анализ данных

Полный факторный эксперимент для всех 4 факторов, перечисленных в Таблице 1, требует как минимум 16 прогонов для оценки ключевого воздействия и парного взаимодействия. Проектирование было ограничено единственным повторением, поскольку каждая комбинация прогонов на испытательном образце включает 240 номеров компонентов 0805 и 0402. Испытательные образцы были собраны в соответствии с ортогональными параметрами прогона при планировании эксперимента.

Результаты планирования эксперимента

Результат при анализе выражен в «% дефектов». Он вычисляется по следующей формуле:

% Дефектов = Кол-во случаев возникновения дефекта / Кол-во возможностей возникновения дефекта x 100

В данном проекте общее количество возможностей возникновения дефектов рассчитывается следующим образом:

Кол-во компонентов 0805 на зону = 60
Кол-во компонентов 0402 на зону = 60
Кол-во зон на испытательный образец (север, юг, восток, запад) = 4
Общее кол-во возможностей возникновения дефектов в ходе прогона на компонент = 240

Полный факторный анализ в основном предназначен для исследования влияния факторов на возникновение дефектов отдельно на компонентах 0804 и 0402. Полный факторный анализ выполняется посредством дисперсионного анализа с уровнем достоверности 95% для компонентов 0805, как показано в Таблице 4.

Таблица 4 Результаты дисперсионного анализа при проведения полного факторного анализа для компонентов 0805

Источник	Степень свободы	Регулируемый запас прочности	Фактор	Процент
Толщина трафарета	1	572,4	4,37	0,091
Паста	1	1330,4	10,16	0,024
Профиль оплавления	1	1100,6	8,41	0,034
Опора платы	1	2,8	0,02	0,889
Толщина трафарета*паста	1	525,6	4,01	0,101
Толщина трафарета* профиль оплавления	1	50,1	0,38	0,563
Толщина трафарета*опора платы	1	312,4	2,39	0,183
Паста*профиль оплавления	1	56,6	0,43	0,540
Паста*опора платы	1	73,5	0,56	0,487
Профиль оплавления*опора платы	1	26,8	0,20	0,670
Погрешность	5	130,9		
Итого	15			

7. Выводы из таблицы для компонентов 0805

1. Тип паяльной пасты (Паста) и профиль оплавления имеют статистически значимое воздействие на возникновение дефектов.
2. Трафаретная толщина и опора платы не имеют статистически значимого воздействия на возникновение дефектов.
3. Существует заметное изменение в % дефектов, когда эти факторы переходят с одного уровня на другой. Эти выводы графически представлены на графике основных воздействий (Рисунки 4 и 5).

Рисунок 4. График основных воздействий полного факторного анализа (дисперсионный анализ) для компонентов 0805

Рисунок 5. График основных воздействий полного факторного анализа (дисперсионный анализ) для компонентов 0402

Смотрите оригинал

Таблица 5 результатов дисперсионного анализа для полного факторного анализа компонентов 0402:

Таблица 4 Результаты дисперсионного анализа при проведения полного факторного анализа для компонентов 0402

Источник	Степень свободы	Регулируемый запас прочности	Фактор	Процент
Толщина трафарета	1	111,3	1,09	0,344
Паста	1	408,0	4,00	0,102
Профиль оплавления	1	9,3	0,09	0,775
Опора платы	1	60,1	0,59	0,478
Толщина трафарета*паста	1	647,7	6,34	0,053
Толщина трафарета* профиль оплавления	1	1,4	0,01	0,910
Толщина трафарета*опора платы	1	557,0	5,46	0,067
Паста*профиль оплавления	1	131,1	1,28	0,309
Паста*опора платы	1	21,6	0,21	0,665
Профиль оплавления*опора платы	1	74,0	0,72	0,434
Погрешность	5	102,1		
Итого	15			

8. Выводы из таблицы для компонентов 0402

1. Толщина трафарета, тип паяльной пасты, профиль оплавления и опора платы не имеют статистически значимого воздействия на % дефектов, наблюдаемых у компонентов 0402.
2. Однако изменение % дефектов наблюдается при изменении каждого факторного уровня.
3. Ни одно из взаимодействий двух факторов статистически значимо.

Заключения по полному факторному анализу спланированного эксперимента

1. Полный факторный анализ учитывает только внешние факторы в экспериментальной матрице и рассматривает общие случаи возникновения дефектов раздельно на двух типах компонентов – 0402 и 0805.
2. Результаты этого анализа показывают, что тот же набор внешних факторов влияет на возникновения дефектов у двух типов компонентов с различными уровнями значимости, как видно из сильно разнящихся значений в Таблицах 4 и 5.

3. В этой части анализа видно, как два различных компонента реагируют на внешние факторы в контексте процентного отношения дефектов.
4. Следующий этап анализа охватывает типы встречаемых дефектов (а не типы компонентов), а именно наплывы и загибы. Чтобы осуществить его, два типа компонента вводят в экспериментальную матрицу в качестве контролируемых факторов, а именно 0402 и 0805.
5. Введение размера компонента повышает счет факторов до 5, и полный факторный анализ для пяти факторов требует 32 комбинации прогонов. Однако матрица плана разрешения-V, состоящая из идентичного набора 16 комбинаций прогонов, может быть использована для анализа пяти факторов одновременно.
6. Случаи возникновения дефектов были разбиты на две группы: наплывы и загибы; % дефектов был рассчитан как указано в предыдущем разделе.

9. План разрешения-V

План разрешения-V отличается от первоначального полного факторного планирования эксперимента только в пятом столбце (компонент). Комбинации уровня для первых четырех факторов аналогичны полному факторному планированию эксперимента. Принципы ортогональности гласят, что добавление столбца в сбалансированную матрицу планирования эксперимента не влияет на ортогональность планирования, если пятый фактор задан в соответствии с массивом L-16 разрешения-V, В Таблице 6 перечислен набор факторов и их соответствующие уровни, использованные для эксперимента.

Таблица 6 Массив L-16 для плана разрешения-V

Номер прогона	Толщина трафарета	Паста	Профиль оплавления	Опора платы	Компонент
1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	-1
...	...	...	...	...	...
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1

План разрешения-V способен обеспечить основные воздействия пяти отдельных факторов в ходе 16 прогонов. Однако с помощью него нельзя выявить воздействия взаимосвязей более высокого порядка (3 и выше), которые обычно не исследуются при определении параметров процесса сборки печатной платы.

10. Анализ разрешения-V для наплывов припоя и загибов

Анализ разрешения-V был выполнен для определения значений факторов, которые сводят к минимуму наплывы и загибы на платах, содержащих компоненты 0402 и 0805. Процентное отношение дефектов было дифференцировано по типу дефекта и соответствующие значения прогонов использовались для анализа данных. На Рисунках 6, 7, 8 и 9 показаны графики основных воздействий и соответствующие диаграммы Парето (диаграмма распределения дефекта по причинам) для наплывов и загибов соответственно.

11. Выводы из анализа разрешения-V наплывов припоя

1. Паста, профиль оплавления и тип компонента являются статистически значимыми воздействиями для наплывов тогда, как толщина трафарета и опора платы не являются, как видно на диаграмме Парето (Рисунок 7).

Рисунок 6. График основных воздействий разрешения-V для % наплывов

Смотрите оригинал

Рисунок 7 Диаграмма Парето для % наплывов

Смотрите оригинал

2. Умозаключения по поводу того, почему определенный уровень отдельного фактора вызывает меньше наплывов, чем другой уровень, представлены подробно в следующем разделе по анализу разрешения-V (т.е. например, почему профиль «расширение-пик» привел к меньшим наплывам, чем профиль «расширение-выдержка-пик»?).
3. Диаграмма Парето также показывает, что определенные взаимосвязи двух факторов, например, паста и тип компонента, являются значимыми. Эти воздействия будут проанализированы подробно в будущих исследованиях путем формулировки дополнительных спланированных экспериментов с расширенным числом уровней и дублей для факторов, что позволит понять воздействие более полно.

12. Выводы из анализа разрешения-V загибов

1. Тип компонента стал единственным значимым фактором в случае образования загибов. Паста, профиль оплавления, опора платы и отсутствие взаимодействий двух факторов являются статистически значимыми, как видно из диаграммы Парето (Рисунок 9).
2. Причину высокой значимости типа компонента на диаграмме Парето (Рисунок 9), можно легко обнаружить, если обратиться к графику основных воздействий (Рисунок 8), где показано, что % загибов на компонентах 0805, был равен 0, для компонентов 0402 - 4%. Этот результат согласуется с известным суждением о том, что загибы более заметны на миниатюрных устройствах.
3. Также можно сделать вывод, что паста-1 всегда приводит к сокращению наплывов и загибов по сравнению с пастой-2.

13. Заключения и выводы анализа разрешения-V

Последующие выводы можно сделать из анализа разрешения-V и имеющихся литературных источников о каждом из факторов со ссылкой на тип дефекта, а именно наплыв и загиб:

13.1 Воздействие размера компонента на загибы припоя

1. Загибы припоя более явно выражены на крупных компонентах (0805) по сравнению с пассивными устройствами меньшего размера (0402). Остальные параметры идентичны для компонентов (Рисунок 6).
2. Размер компонента влияет на количество пасты, перемещаемой с контактных площадок (на припойный трафарет), т.е. компоненты большего размера перемещают больше пасты, чем компоненты меньшего размера, что повышает вероятность образования наплыва припоя.

Во время оплавления смещенная паяльная паста расплавляется на разрозненные наплывы.

Рисунок 8 График основных воздействий разрешения-V для % загибов

Рисунок 9 Диаграмма Парето для % загибов

Рисунок 10 Диаграмма Парето для % загибов

Смотрите оригинал

14. Влияние толщины трафарета на наплывы припоя

1. Трафареты меньшей толщины (4 мил) приводят в меньшему числу наплывов припоя, чем трафареты большей толщины (6 мил) (Рисунок 6).
2. Излишек паяльной пасты, осажденный на контактных площадках компонентов, увеличивает вероятность образования наплывов припоя. Увеличение толщины трафарета приводит к значительному увеличению объема паяльной пасты (Рисунок 10).

15. Влияние производителя пасты на образование наплывов припоя

1. Паста-1 всегда приводила к сокращенному % дефектов (наплывы припоя и загибы) по сравнению с пастой-2.
2. Две исследованные пасты были от двух производителей, объединивших флюс «no-clean» и размер частиц тип-III.

16. Влияние профиля оплавления на образование наплывов припоя

1. Профиль оплавления «расширение-пик» приводит к сокращенному образованию наплывов припоя по сравнению с профилем «расширение-выдержка-пик».
2. Это объясняется его постепенной скоростью расширения по сравнению с резким первоначальным профилем «расширение-выдержка-пик», что приводит к сравнительно небольшому осаждению. (Таблица 7).
3. Одной из типичных причин образования наплывов припоя является излишнее осаждение пасты на контактных площадках во время оплавления. Скорость расширения влияет на осаждение пасты во время оплавления. Медленная скорость расширения приводит к повышенной потере летучих веществ, увеличивающих вязкость пасты[5].

Рисунок 11 Профиль «расширение-выдержка-пик»

Рисунок 12 Профиль «расширение-пик»

Смотрите оригинал

Таблица 7 Скорость расширения для двух профилей

Тип профиля	Скорость расширения
Расширение-пик	1,2°C/сек
Расширение-выдержка-пик	1,8 - 2°C/сек.

4. Повышение вязкости пасты сокращает осаждение и уменьшает образование наплывов, как в случае с профилем «расширение-пик».

17. Влияние опоры платы на образование наплывов припоя

1. Как было заявлено ранее, наличие/отсутствие опоры платы при размещении компонента не оказывает значительного влияния на процесс образования наплывов припоя. При этом, в обычную промышленную практику вошло использование опоры платы при размещении компонентов.
2. Однако, отсутствие опоры платы не вызвало заметное сокращение дефекта наплывов (Рисунок 6). Наличие опоры платы предотвращает прогиб платы при давлении во время размещения компонентов.

3. Этот аспект вносит еще одну переменную, а именно давление при размещении компонентов, чье воздействие можно исследовать в сочетании наличия/отсутствия опоры платы, включив давление при размещении как одну из расчетных величин в будущих исследованиях.

18. Влияние размера компонента на образование загибов

1. Загибы обнаружены только на компонентах 0402 и не наблюдаются на устройствах 0805. Загибы – это явление, вызываемое неравными силами смачивания, которые возникают во время пайки оплавлением между двумя контактными площадками одного компонента.
2. Очевидно, что вес и геометрия размера компонента являются критическими факторами при определении чувствительности устройства к образованию загибов после оплавления. Это говорит о том, что образование загибов будет наблюдаться на бескорпусных компонентах 0201, что следует учесть в дальнейших исследованиях.

19. Влияние профиля оплавления на образование загибов

1. Два профиля оплавления не имеют статистически значимой разницы в % дефектов, как видно на диаграмме Парето (Рисунок 9).
2. С точки зрения качества профиль «расширение-выдержка-пик» имеет меньший процент загибов, чем профиль «расширение-пик» (Рисунок 8). что объясняется длинным периодом выдержки на профиле «расширение-выдержка-пик».
3. Долгий период выдержки способствует поддержанию теплового равновесия между контактными площадками компонентов. Таким образом, сокращается дифференциальная сила поверхностного напряжения, которая является главной причиной образования загибов.

20. Влияние толщины трафарета на образование загибов

1. Толщина трафарета не оказывает значимого влияния на образование загибов, как видно на диаграмме Парето (Рисунок 9).
2. Предыдущие исследования показали, что сниженный объем пасты (а значит и более тонкий трафарет) способствует сокращению случаев образования загибов[5]. Этот факт очевидно показан на Рисунке 8, где трафарет толщиной 4 мил имеет меньший % загибов, чем трафарет толщиной 1 мил.

21. Влияние опоры платы на образование загибов

1. Опора платы не имеет статистически значимого влияния на возникновение загибов, как видно на Рисунке 9.
2. С точки зрения качества при наличии опоры платы возникает меньше загибов, чем при ее отсутствии (Рисунок 8). Такое поведение прямо противоположно, говоря о наплывах.
3. В зависимости от схемы расположения компонентов и концентрации на плате, могут потребоваться соответствующие опоры, которые помогут сократить образование

наплывов и загибов. Тип расположения следует определить, исходя из концентрации миниатюрных компонентов на плате.

4. Следует провести исследования, включив положение опоры платы в качестве переменной.

В Таблице 8 собраны различные значения факторов, которые могли бы сократить дефекты, исходя из выводов анализа:

Таблица 8 Предпочтительные значения параметров обработки

Факторы	Предпочтительное значение фактора для сокращения	
	Наплывов припоя	Загибов
Толщина трафарета	4 мил	4 мил
Тип пасты	Паста 1	Паста 2
Профиль оплавления	«расширение-пик»	расширение-выдержка-пик
Опора платы	Не вызывает значительного изменения	Да

22. Заключение

Анализ расширения-V, проведенный с несколькими переменными, выявил значения факторов, которые сводят к минимуму образование вышеописанных дефектов. Следующим этапом является использование их в качестве установочных параметров обработки и проведение подтверждающих прогонов. Чтобы лучше понять процесс, следует провести исследования малых компонентов, например, 201, и таких параметров, как давление при размещении, сдвиг при размещении, различные конфигурации опоры платы и их соответствующие взаимосвязи.

23. Справочная литература

Смотрите оригинал

Приложение C

Методы устранения загибов с применением различных материалов

Брайан Дж. Толено, Нил Пул
Henkel Loctite Corporation
Индастри, Калифорния

Аннотация

Спрос на портативные и легковесные электронные устройства с улучшенными функциональными характеристиками ведет к все более сильному сокращению размеров компонентов. Уменьшение размеров имеет отношение не только к активным устройствам таким, как корпуса кристалла ИС (CSP) и устройства с матричной решеткой, но также к таким дискретным компонентам, как конденсаторы и резисторы. Это привело к частому применению компонентов с размерами 0402 и 0201. Эти компоненты имеют значительно меньшие размеры, чем другие дискретные компоненты. Главной сложностью использования этих компонентов является обработка. Одним из наиболее распространенных дефектов, связанных с этими миниатюрными компонентами, является образование загибов. Было предложено множество решений по сокращению и устранению этого дефекта. На сегодняшний день они в основном включают изменение конструкции и/или процесса обработки. Внедрение этих изменений после начала изготовления отнимает много времени и средств. Кроме того, даже если некоторые из этих изменений были осуществлены, прочие технологические факторы могут повлиять на появление загибов. В данной статье описаны методы устранения загибов на основе материалов. Эти методы, использованные для сокращения загибов при производстве, увеличивают время обработки. В статье представлены причины возникновения загибов, рассмотрены конкретные случаи и механизмы воздействия материалов на сокращение загибов.

Введение

Термином «загиб» (также известный как Манхэттенский эффект) описывается ряд дефектов, которые обычно происходят, когда контактный вывод компонента отслаивается во время оплавления (Рисунок 1A). Дефект происходит из-за статического дисбаланса компонента во время оплавления. Обычно припой на одной стороне компонента расплавляется быстрее, чем на другой стороне. Высокое поверхностное напряжение припоя наряду с малым весом компонента приводит к подъему вывода компонента на стороне, противоположной стороне с расплавленным припоем. Эти неуравновешенные силы могут также привести к боковому смещению компонента (Рисунок 1B) или достаточно высокому подъему над верхней границей припоя, что снижает надежность, но не всегда образует открытое соединение (Рисунок 2). Такое несбалансированное оплавление может иметь несколько причин. Например, крупный след на одной стороне компонента (или рядом с ней) может привести к аккумулированию тепла с одной стороны, что вызывает оплавление сначала противоположной стороны. В этом случае открытая сторона будет стороной, прилегающей к области забора тепла. Это воздействие также наблюдается при наличии крупного компонента или устройства с большим радиатором,

расположенным рядом с одной стороной малого дискретного компонента (Рисунок 3). Другой причиной, вызывающей тепловой дисбаланс компонента, является направление оплавления. В случаях когда существует сильный перепад температуры в области нагрева и компонент оплавляется параллельно направлению полосы оплавления, передний край может оплавиться быстрее, чем задний, что приведет к образованию загиба с открытым краем на задней стороне компонента.

Рисунок 1. Примеры дефектов загиба

Рисунок 2 Компонент загнут с подъемом

Рисунок 3 Возможные причины возникновения загибов

Смотрите оригинал

На Рисунке 1А изображен «классический» дефект загиба. На Рисунке 1В изображен менее распространенный дефект смещения.

Помимо теплового воздействия, несбалансированное усилие размещения может вызывать загибы. Если малый компонент размещается с большим усилием на одной стороне, чем на другой, вывод, глубже посаженный в припой, остается в контакте с платой, а другой вывод загибается. Эти дефекты легче всего распознать, однако, явление загибов не всегда вызывает только эти существенные дефекты. В некоторых случаях компонент может загибаться и оставаться на верхней границе оплавленного припоя. В этом случае его сложно обнаружить при беглом визуальном осмотре. Если есть физический контакт между выводом компонента и припоем, загиб можно ошибочно определить как эффективное электрическое соединение. Хотя этот дефект проходит первоначальную визуальную и электрическую проверку, долгосрочная надежность этих паяных соединений сильно ухудшена. Следовательно, этот тип дефекта иногда обнаруживается, только когда происходит отказ устройства при эксплуатации. Похожим дефектом является смещение компонента в сторону, но не вертикально (Рисунок 1В). Если компонент располагается над оплавленным припоем, дефект сложно обнаружить визуально, и он проявляется только при отказе в условиях эксплуатации.

В целях определения наилучших методов сокращения частоты появления загибов, был проведен ряд спланированных экспериментов, которые исследуют воздействия во время конструирования и обработки. Адрианс и Шаке представили результаты спланированного эксперимента, целью которого стало изучение влияния геометрии и ориентации контактной площадки, химического состава флюса и условий обработки на эффект загибания компонентов 0201[1].

Они сделали следующие выводы:

- Оптимальные размеры контактной площадки:

Ширина - 0,015’’ или 0,018’’

Длина: 0,012 ‘’

- Интервал между площадками: 0,009’’

- Компоненты, оплавленные перпендикулярно подводу тепла, имели больший процент загибов.
- Водорастворимая паста в воздухе и паста с низким содержанием твердой фазы в азоте вызывают больше дефектов загиба, чем паста с низким содержанием твердой фазы в воздухе.

Был проведен спланированный эксперимент[2] для определения воздействия различных процессов и конфигураций на образование загибов на компонентах 0402 и 0201[3]. Было получено, что сочетания следующих параметров сокращают образование дефектов загиба:

- Низкий угловой коэффициент предварительного нагрева и паяльная паста типа IV
- Покрытие с хорошей паяемостью и низкий угловой коэффициент предварительного нагрева
- Покрытие с хорошей паяемостью и паяльная паста типа IV

В обеих работах описаны и представлены изменения обработки и конструирования для уменьшения загибов, вторая ссылка описывает влияние состава паяльной пасты и ее предрасположенности к образованию загибов. Другим вариантом, который стал возможен недавно является применение паяльной пасты, специально созданной для сокращения возникновения дефектов загиба. В идеале этот материал внесет свой вклад в замену используемой сегодня паяльной пасты и устранения загибов компонентов. Использование материала, который сводит к минимуму образование загибов, помогает увеличить период обработки, доступный при производстве.

Чтобы сократить вероятность возникновения загибов, необходимо создать материал, имеющий значимый интервал температур плавления (также известный как «вязкий»), а не резкую точку плавления, как у эвтектических материалов (например, 63/37 олово/свинец). Паяльные пасты, сделанные из неэвтектических порошков сплава, чаще всего состоят из таких элементов, как олово, свинец и висмут, поскольку это сочетание имеет значительно интервал плавления для достижения желательного результата. Обычно они содержат только небольшой процент висмута, а объем жидкой фазы остается низким, пока не достигнет температуры ликвидуса оловянно-свинцового припоя. Прочие пасты состоят из смеси двух порошков сплава, например, оловянно-свинцового и оловянно-висмутового, для достижения того же результата. В этом случае сплав с более низкой температурой плавления плавится первым и начинает смачивать компонент, плату и остальной порошок. Взаимное растворение между порошками происходит, пока они не сформируют гомогенный состав до того, как произойдет застывание в конце процесса оплавления. Оба припоя, содержащие висмут, могут ухудшить надежность в условиях термоциклирования. При высоких температурах цикла может образоваться эвтектик с низкой точкой плавления и сильно ослабить соединение, так как он расплавлен. Это просто устранение одного дефекта (загибы) за счет ухудшения надежности, что нежелательно.

Сложность заключалась в создании такого же эффективного «вязкого» интервала без снижения надежности соединений. При использовании смеси порошков эвтектических сплавов с практически аналогичной температурой плавления, эта задача решается, если при плавлении не образуется тройной состав с более низкой температурой плавления. В этом случае используют эвтектические сплавы – оловянно-свинцовый и оловянно-свинцово-серебряный с точками плавления 183°C и 179°C соответственно. Когда они объединены вместе, интервал плавления конечного сплава составляет только 179-183°C.

Этот интервал позволяет расширить этап обработки относительно загибов и не ухудшает надежность при термоциклировании. Попытки поддерживать объем жидкого металла на минимуме до завершения оплавления путем использования смеси, содержащей больше порошка с высокой температурой плавления, чем порошка с низкой температурой плавления, успешны лишь отчасти. По мере плавления сплава с низкой температурой плавления, он диффундирует в частицы с высокой температурой плавления и приводит к слишком большому объему жидкости. При этом температура плавления всей системы сокращается. Это воздействие можно снизить путем использования более мелких частиц сплава с низкой температурой плавления и, тем самым, ограничивая площадь контакта с более крупными частицами с высокой температурой плавления[4]. Процесс оплавления показан на Рисунке 4.

Рисунок 4. Схема поэтапного оплавления смешанных порошков сплавов (Sn62, Sn63) в паяльной пасте

Смотрите оригинал

Экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что такой процесс действительно имеет место во время оплавления, представлены на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на Рисунке 5, который является графиком теплового потока в паяльной пасте по мере ее прохождения через этап расплавления на типичном профиле оплавления паяльной пасты. Тепловой поток относится к скрытой теплоте плавления порошкового припоя (ось y). По оси x представлена температура материала, но это также и временная ось по мере прохождения паяльной пасты через печь оплавления. Эвтектическая паяльная паста (Sn62) имеет ограниченное время плавления, поскольку система изменяется слишком быстро, чтобы установилось равновесие. Однако она изменяется от полностью твердой до полностью жидкой за более короткое время, чем смесь порошкового припоя против образования загибов (63S4). Этого дополнительного времени, когда сплав находится в вязком состоянии, достаточно для предотвращения дефекта загибов, когда они могли бы образоваться на эвтектической паяльной пасте.

Эксперимент

Воздействие изменения состава порошкового припоя был изучен путем сравнения компонентов 0402, собранных в идентичных условиях, включая идентичный флюс. Для этого эксперимента была использована ПМП (Рисунок 6), которая имела контактные площадки с различной геометрией и ориентацией (Рисунок 7).

Рисунок 5 ДСК для двух паяльных паст, проходящих через этап плавления на обычном тепловом профиле оплавления

Смотрите оригинал

Различные факторы включают:

1. Геометрия контактной площадки

- квадрат (.020 x .020, .030 x .030)
- прямоугольник (.020 x .030, .030 x .020, .040 x .030, .040 x .020)

2. Интервал между контактными площадками

- .023
- .016
- .011

3. Направление оплавления

- вертикальное
- горизонтальное

Рисунок 6 Фотография использованного испытательного образца

Смотрите оригинал

Различные исследования комбинации перечислены в Таблице 1.

Рисунок 7 Фотография контактных площадок, исследованных на предмет сокращения загибов

Смотрите оригинал

Для каждой комбинации переменных на одной ПМП было 18 мест; были прогнано две платы с созданием 36 вероятностей возникновения дефекта для каждой комбинации переменных и всего 2592 вероятностей на материал. Платы были собраны в комплексе Энгент (формально производственная лаборатория Siemens) с применением следующего оборудования: установка трафаретной печати Siemens Siplace HS-50 и F-5, Siemens Siplace SP-500 и печь для оплавления Siemens Siplace RN-38. До размещения компонентов припойные трафареты были отработаны с применением измерительной системы ASC International VisionMaster AP212. В этом испытании было использовано две различные паяльные пасты. В обоих случаях использовалась высокоскоростная оловянно-свинцовая эвтектическая паяльная паста (Флюс NC1). Единственным отличием был состав сплава. В случае контрольной паяльной пасты, порошковый сплав с размером порошка типа III. Паяльная паста против загибов содержит смесь сплавов, как описано во введении (Sn63/Pb37 и Sn62/Pb36/Ag2). После оплавления платы были изучены под микроскопом, количество дефектов было посчитано.

Помимо лабораторных экспериментов, эффективность сокращения количества дефектов данного материала была продемонстрирована на реальной производственной линии. Производственная линия состояла из установки трафаретной печати DEK 265, перегрузочного аппарата Siemens и 10-зональной печи оплавления Omni Flow. В обоих случаях использовался один и тот же химический состав флюса (NC2) и профиль оплавления.

Результаты

Не принимая во внимание отдельное местоположение дефекта, паяльная паста против загибов сократила количество дефектов вдвое, Рисунок 8. Сравнение количества дефектов относительно интервала (Рисунок 9), ориентации (Рисунок 10) и геометрии (Рисунок 11) показало, что эта паяльная паста сокращает количество дефектов, независимо от прочих воздействий. Чтобы подтвердить это наблюдение, был проведен дисперсионный анализ собранных данных с применением пакета программ MINITAB[5]. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 1 Размеры контактных площадок (длина х ширина х интервал) и исследованная ориентация (горизонтально или вертикально)

Таблица 2 Общее сокращение дефектов с применением нового материала

Смотрите оригинал

Рисунок 9 Влияние интервалов на количество дефектов
Рисунок 10 Ориентация и количество дефектов
Рисунок 11 Влияние геометрии контактных площадок на количество дефектов

Смотрите оригинал

Факторы в Таблице 2 являются переменными и взаимосвязями переменных, степенями свободы, суммами квадратов и значениями Р. Взаимосвязи между переменными обозначены звездой (*). Выделенные желтым цветом ряды указывают на значимые параметры модели (ряды, где значения Р меньше 0,050). Обратите внимание, что хотя интервал и ориентация не являются значимыми сами по себе, их взаимосвязь значима. Два наиболее значимых фактора сокращения количества дефектов в данном эксперименте – размер контактной площадки и паяльная паста.

После контролируемых лабораторных условий была использована смесь сплавов против загибов (с другим no-clean компонентом) для сокращения дефектов в производственной среде. Данный изготовитель зарегистрировал 10 дефектов на плате с 95 компонентами 0402. После извлечения из печи оплавления компоненты повторно обрабатывались вручную. Затем была паяльная паста против загибов была заменена на паяльную пасту, использованную в тот момент на производственной линии (Флюс NC2). Количество загибов на плату было сведено к 0 **без изменения каких-либо параметров**. При прогоне 20 плат дефектов обнаружено не было (сокращение в среднем на 200 дефектов).

Таблица 2 Статистический (дисперсионный) анализ обнаруженных дефектов

Переменная	Степень свободы	Сумма квадратов	Значение Р
Паста	1	377,01	0,003
Геометрия	5	2425,37	0,000
Интервал	2	54,51	0,500
Ориентация	1	0,06	0,968

Паста*Геометрия	5	584,20	0,016
Паста*Интервал	2	13,43	0,842
Паста*Ориентация	1	47,84	0,272
Геометрия*Интервал	10	671,15	0,092
Геометрия*Ориентация	5	425,48	0,065
Интервал*Ориентация	2	381,29	0,010
Паста*Геометрия*Интервал	10	38,24	1,000
Паста*Геометрия*Ориентация	5	64,53	0,893
Паста*Интервал*Ориентация	2	14,26	0,833
Геометрия*Интервал*Ориентация	10	692,04	0,081
Паста*Геометрия*Интервал*Ориентация	10	90,74	0,922
Погрешность	72	2807,50	
Итого	143	8687,66	

Заключение

В исследовании, проведенном на производстве, вторым наиболее значимым фактором образования загибов стала паяльная паста. Использование сплава против загибов может значительно снизить рост этих дефектов. Более того, способность этой смеси сплавов сокращать образование загибов была продемонстрирована при работе с двумя no-clean флюсами с разными химическими составами.

В целях сокращения и устранения дефекта загибов на конечных платах следует принять соответствующие меры во время конструирования и обработки В случаях когда эти дефекты все же возникают, паяльная паста против загибов вместо стандартной паяльной пасты в дальнейшем сократит количество дефектов.

Благодарности

Авторы благодарят Пола Хьюстона, Или Брэндон, Дэна Болдуина и сотрудников комплекса Энгент, Дуга Диксона и Брайана Бетти из компании Loctite.

Справочная литература

Смотрите оригинал